

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

## REGENERACE LAKOVANÝCH DÍLŮ Z PP

## VARNISHED PP PARTS RECOVERY

Lukáš Štros

**KSP – TP – 789**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Flégl – *Cadence Innovation k. s., Liberec*

### Rozsah práce a příloh:

Počet stran	82
Počet tabulek	17
Počet příloh	5
Počet obrázků	67

**Datum: 25. 5. 2007**

## ANOTACE

### TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

#### Fakulta strojní

#### Katedra strojírenské technologie

#### Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství  
Diplomant: Lukáš Štros  
Téma práce: Regenerace lakovaných dílů z PP  
Varnished PP parts recovery  
Číslo DP: KSP – TP – 789  
Vedoucí DP: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*  
Konzultant DP: Ing. Petr Flégl – *Cadence Innovation k. s., Liberec*

#### **Abstrakt:**

Diplomová práce posuzuje možnosti regenerace lakovaných dílů z polypropylenu na náraznících automobilů vyráběných ve firmě Cadence Innovation, k. s. Liberec. Možnost regenerace lakovaných nárazníků z hlediska vlastností nových výstřiků (výrobního smrštění a mechanických vlastností) a reologie (tekutosti) taveniny je posuzována k vlastnostem výstřiků vyráběných z regenerátů nenalakovaných nárazníků, nalakovaných nárazníků a nárazníků u nichž bylo provedeno chemické odlakování.

#### **Abstract:**

The diploma thesis views all means of varnished polypropylene parts recovery on the bumpers made in Cadence Innovation, k. s. in Liberec. The possibility of varnished bumpers recovery in light of new jets' properties (production contraction and mechanical characteristics) and melting rheology (fluidity) is explored to the jet properties. Those are generated from unvarnished bumper reclaims, varnished bumper reclaims, and bumpers where the chemical lacquer removing was put across.



**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25. 5. 2007

.....  
Lukáš Štros  
Kominická 599  
Liberec 4  
460 01



### **Poděkování:**

Děkuji především vedoucímu diplomové práce, Ing. Luboši Běhálkovi, za ochotu, čas, cenné rady a trpělivost při zpracovávání diplomové práce. Dále chci poděkovat firmě Cadence Innovation, k.s, Liberec za technickou pomoc, zejména panu Ing. Petru Fléglovi za poskytnuté podklady a odborné konzultace.

## **OBSAH**

<b>SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>10</b>
<b>2 TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Možnosti recyklace</b>	<b>17</b>
2.1.1 Surovinová recyklace	18
2.1.2 Chemická recyklace	20
2.1.3 Energetická recyklace	22
2.1.4 Materiálová recyklace	23
<b>2.2 Třídění a zpracování plastů</b>	<b>25</b>
2.2.1 Mletí a drcení	26
2.2.2 Granulace	27
<b>2.3 Formy organizace recyklace</b>	<b>30</b>
2.3.1 Podniková recyklace	31
2.3.2 Mezipodniková recyklace	33
<b>2.4 Směs polymeru s regenerátem</b>	<b>34</b>
<b>3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Charakteristika měřeného materiálu</b>	<b>36</b>
3.1.1 Základní materiál	37
3.1.2 Regenerát bez nalakování	37
3.1.3 Regenerát s chemicky odstraněným lakem	38
3.1.4 Regenerát s lakem	39
<b>3.2 Příprava materiálu</b>	<b>40</b>
<b>3.3 Výroba zkušebních vzorků</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Hodnocení mechanických vlastností materiálu</b>	<b>46</b>
3.4.1 Hodnocení tahových vlastností	47
3.4.2 Hodnocení ohybových vlastností	49
3.4.3 Hodnocení vrubové houževnatosti	52
<b>3.5 Stanovení výrobního smrštění</b>	<b>56</b>
<b>3.6 Hodnocení reologických (tokových) vlastností materiálu</b>	<b>59</b>
3.6.1 Hodnocení spirálové zkoušky zabýhavosti	59
<b>4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Vyhodnocení mechanických vlastností materiálu</b>	<b>61</b>
4.1.1 Vyhodnocení tahových vlastností	61
4.1.2 Vyhodnocení ohybových vlastností	63
4.1.3 Vyhodnocení vrubové houževnatosti	68
<b>4.2 Vyhodnocení výrobního smrštění</b>	<b>71</b>

<b>4.3 Vyhodnocení reologických (tokových) vlastností materiálu</b>	<b>77</b>
<b>5 ZÁVĚR</b>	<b>79</b>
<b>6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>82</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$p$	[MPa]	tlak
$p_i$	[MPa]	vnitřní vstřikovací tlak
$v$	[m <sup>3</sup> /kg]	měrný objem
$a_{cA}$	[kJ.m <sup>-2</sup> ]	vrubová houževnatost Charpy (N-tvar vrubu)
$W$	[J]	absorbovaná energie
$\sigma_M$	[MPa]	napětí v tahu na mezi pevnosti
$\sigma_Y$	[MPa]	napětí v tahu na mezi kluzu
$\sigma_{fM}$	[MPa]	napětí v ohybu na mezi pevnosti
$\sigma_{f1}$	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f1}=0,05\%$
$\sigma_{f2}$	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f2}=0,25\%$
$E_n$	[MPa]	nominální energie rázového kladiva
$E_f$	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
$\varepsilon_Y$	[%]	poměrné prodloužení na mezi kluzu
$\varepsilon_M$	[%]	poměrné prodloužení na mezi pevnosti
$\varepsilon_f$	[%]	deformace ohybem
$\varepsilon_{f1}$	[%]	deformace ohybem 0,05%
$\varepsilon_{f2}$	[%]	deformace ohybem 0,25%
$T$	[°C]	teplota
$T_{tm}$	[°C]	teplota temperačního média
$T_m$	[°C]	teplota tání semikrystalických polymerů
$T_g$	[°C]	teplota skelného přechodu
$\alpha$	[K <sup>-1</sup> ]	součinitel teplotní roztažnosti
$h$	[mm]	tloušťka výstřiku
$b_n$	[mm]	šířka zkušebního tělesa pod vrubem
$l_c$	[mm]	délka ve středu tvarové dutiny
$b_c$	[mm]	šířka ve středu tvarové dutiny
$l_1$	[mm]	délka zkušebního vzorku
$b_1$	[mm]	šířka zkušebního vzorku
$L$	[mm]	průměrná délka Archimédovy spirály
$t$	[s]	čas
$ts_1$	[s]	doba uzavření vstřikovací formy
$ts_2$	[s]	doba přisunutí tavicí komory k formě
$ts_3$	[s]	doba otevření vstřikovací formy
$ts$	[s]	celkový strojní čas ( $ts_1 + ts_2 + ts_3$ )
$t_v$	[s]	doba vstřikování

$t_{ch}$	[s]	doba chlazení
$t_d$	[s]	doba dotlaku
$t_{pl}$	[s]	doba plastikace
$t_m$	[s]	doba manipulace
$t_c$	[s]	celková doba vstřikování
$S_M$	[%]	výrobní smrštění
$S_{Mp}$	[%]	výrobní smrštění v podélném směru
$S_{Mn}$	[%]	výrobní smrštění v příčném směru
$S_T$	[%]	celkové smrštění
MVR	[cm <sup>3</sup> /10min]	objemový index toku taveniny
PE		polyetylen
ABS		akrylonitril-butadien-styrén
PA		polyamid
PC		polykarbonát
PMMA		polymethylmetakrylát
POM		polyoxymetylen
PP		polypropylen
PS		polystyren
PVC		polyvinylchlorid
DMT		dimetyl-tereftalát
EG		etylenglykol
BHET		bis-(2-hydroxyetyl) tereftalát
APP		polyesterové polyoly
TPA		kyselina tereftalová
PHT		polyhydroxyetyltereftalát

## 1 ÚVOD [1], [2]

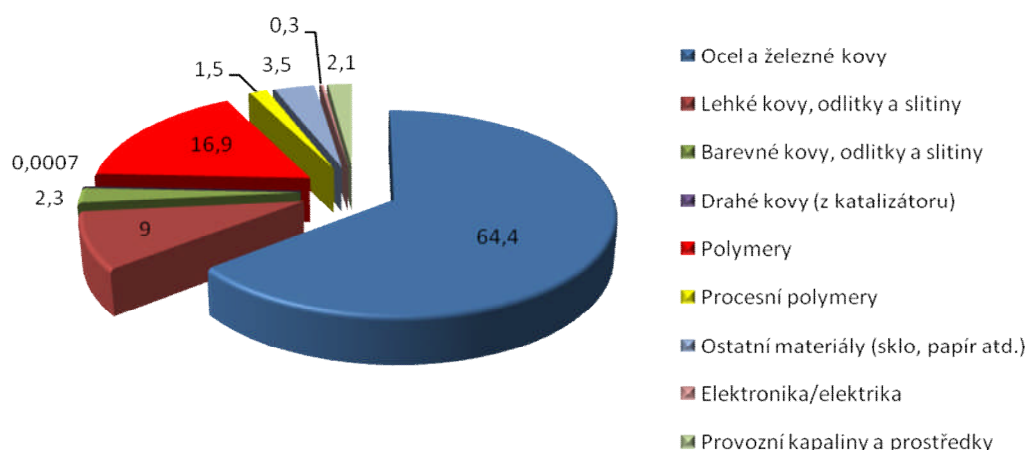
Polymerní materiály, tedy plasty a kaučuky, představují v současnosti nejvýznamnější segment výroby a spotřeby podle objemu mezi všemi technickými materiály. V konkurenci s materiály klasickými, především kovy, se polymery prosadily snadnou zpracovatelností, nízkou hustotou a výhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Z nekovových materiálů patří polymery k nejvýznamnějším a příčiny vedoucí k rychlému zvyšování výroby a spotřeby polymerů je nutno hledat především v samotných vlastnostech těchto materiálů, kterými mnohdy předčí i klasické materiály. Jedná se především o jejich: nízkou hustotu, dobré mechanické a technologické vlastnosti, odolnost vůči korozi i chemickým účinkům, dobré tepelné a elektroizolační vlastnosti.

Další vývoj polymerních materiálů stále pokračuje a je neobyčejně zajímavý a poučný. Objevují se jak netušené možnosti modifikace polymerních materiálů, tak jejich nečekané aplikace. Pokrok nastává v podstatě ve dvou směrech: na jedné straně se rozšiřují aplikace takzvaných komoditních polymerů, které ovšem souvisejí s vývojem a výzkumem jejich modifikací, na straně druhé pak pokračuje intenzivní výzkum polymerů pro speciální aplikace, jako je záznam informací, elektronika, analytika a medicína. I když je dlouhodobá prognóza obtížná, je zřejmé, že výzkum a vývoj bude pokračovat i nadále v obou zmíněných směrech. Přitom úspěch materiálů vyvinutých základním a aplikovaným výzkumem bude v rozhodující míře ovlivněn cenou, přesněji řečeno poměrem mezi cenou a užitnou hodnotou materiálu.

Polymerní materiály našly velké uplatnění v dynamicky se rozvíjejícím průmyslovém odvětví a to v automobilovém průmyslu (viz obr. 1.1), kde mají nemalý podíl na jeho rozvoji a úspěších. Tento rozkvět je dán tím, že polymery jsou schopny lehce nahradit klasické materiály, které jsou mnohdy dražší, hůře zpracovatelné nebo nedostatečné.

Přes všechny výhody a přednosti plastů se však může stát jejich největší slabinou závislost na výrobní surovině, tedy ropě. Ropa, jakožto vyčerpatelný a znovu neobnovitelný přírodní zdroj, který byl utvářen po dobu posledních několika milionů let a který bude v následujících desítkách let vytěžen, se

postupem času stane nejžádanější surovinou planety. Velice důležité je, kdy těžba ropy dosáhne svého vrcholu, od kterého začne postupně klesat. Důsledkem poklesu těžby (snižujících se zásob) bude ten, že cena ropy poroste. To je důvod proč by se měly vyvíjet nové technologie, které umožní získávat výchozí materiál pro výrobu plastů ze zdrojů, které nebyly dosud využity a využívat rovněž možnosti recyklace použitých výrobků z technologického odpadu.



Obr. 1.1 Příklad materiálového složení vozu Škoda Octavia 1,9 TDI [2]

V roce 2004 se v ČR recyklovalo 71 % papíru, 44 % plastů, 35 % kovů, 69 % skla a celková míra recyklace dosáhla 56 %. Je to důsledek řady pozitivních trendů - roste množství vytríděného odpadu na obyvatele, počet domácností, které odpad třídí, i množství vytríděných obalů. Rozsah systému tříděného sběru odpadů pokrýval v roce 2004 ca 96 % území republiky. Bylo vytríděno více než 333 tisíc tun, což představuje ca 33,92 kg vytríděných a využitých odpadů na obyvatele za rok (v roce 2002 ca 24,26 kg/obyvatele, v roce 2003 ca 28,28 kg/obyvatele).

Recyklace je výraz pro znovu využití odpadu, kterým se dospěje k využití energie a materiálové podstaty výrobku, po ukončení jeho životnosti. Díky recyklaci se mohou šetřit přírodní zdroje nerostných surovin, někdy i za cenu zvýšených nákladů na roztřídění a energii.

Regenerace má podobný význam jako recyklace s tím rozdílem, že při regeneraci se používá recyklovaný odpad na výrobu dílu, z něhož byl

recyklát vyroben. Jedná se v podstatě o uzavřený kruh. O regeneraci mluvíme všeobecně ve smyslu procesu obnovy nebo nahrazení starého novým.

Cílem této diplomové práce, která vznikla na základě spolupráce katedry strojírenské technologie a k.s. Cadence Innovation, je technologické zhodnocení možnosti regenerace lakovaných nárazníků vyrobených z polypropylenu z hlediska mechanických vlastností výstřiků, velikosti jejich výrobního smrštění a reologického (tokového) chování taveniny v závislosti na procentuálním zastoupení regenerátu v základním materiálu.

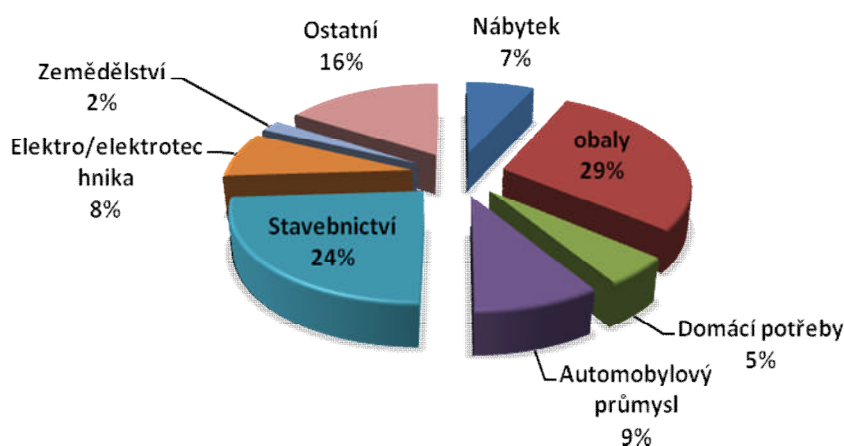
V první, teoretické části, jsou obecně popsány druhy recyklace, některé metody zpracování polymerních odpadů.

Druhou částí diplomové práce je část experimentální. Obsahuje popis materiálu, jak panenského, tak regenerátů, přípravu materiálu, charakteristiku vstřikovacího stroje a nástroje, výrobu zkušebních vzorků, charakteristiku jednotlivých metod hodnocení mechanických vlastností, jejich vyhodnocení a porovnání výsledků v závislosti na druhu regenerátu.



## 1 TEORETICKÁ ČÁST [3], [4], [5]

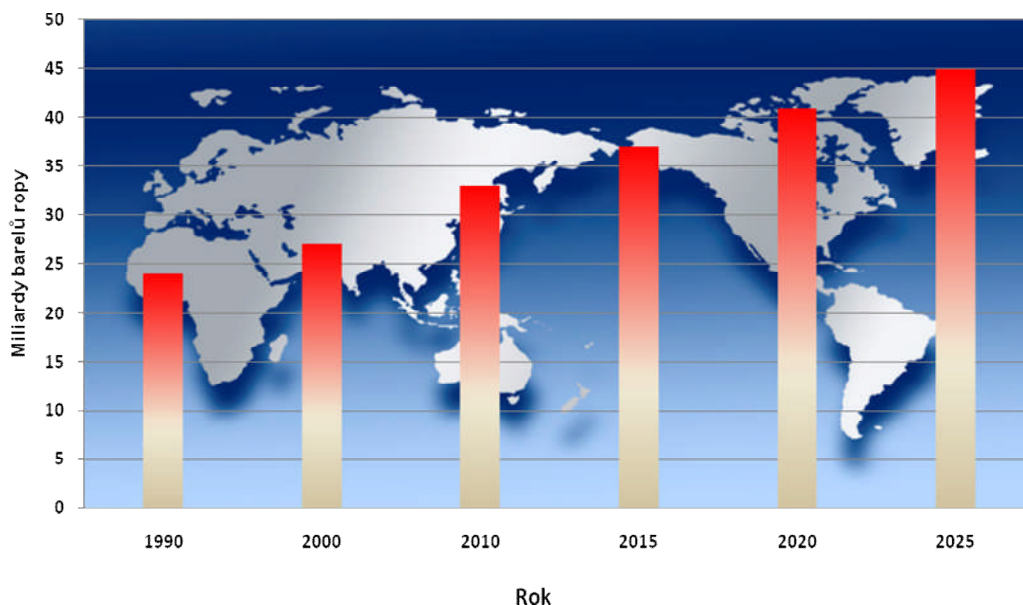
Polymery jako nové, progresivní a konstrukční materiály specifických vlastností se snadno a energeticky výhodně zpracovávají tepelným tvářením. Jejich naprostá většina se využije pro výrobu technických výrobků, což potvrzuje i to, že se strojírenství na spotřebě polymerního materiálu podílí v průmyslově vyspělých zemích jednou třetinou. Z obr. 2.1 je patrné, že na celkové spotřebě polymerních materiálů se významně podílí stavebnictví, obalová technika, elektronika a automobilový průmysl, avšak to se také v celkovém důsledku projevuje i v řadě problémů týkajících se odpadů, což má za následek i ekologický dopad na životní prostředí a (pro samotné podmínky) ekonomickou zátěž.



Obr. 2.1 Světová spotřeba plastů podle použití [3]

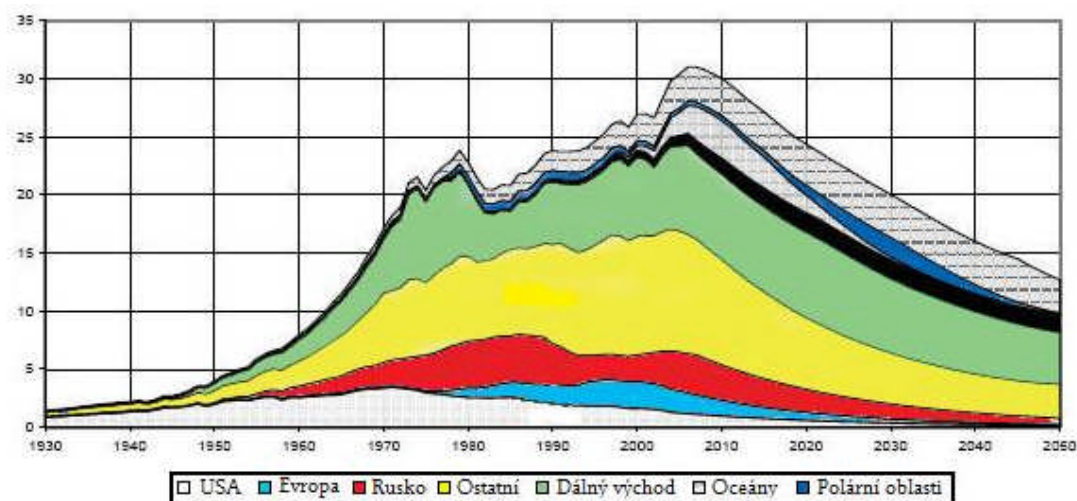
Snižující se zásoby železných rud, jakožto i nedostatek jiných surovin, přispívá k zvyšujícímu se zájmu výrobců o využívání polymerů. Polymerní materiály se staly nedílnou součástí světových materiálových rozvah. Pevné místo polymerů jako konstrukčních materiálů si vyžaduje dobré technické znalosti, neboť konstrukce výrobků z polymerních materiálů klade vysoké nároky na znalosti vlastností a chování těchto materiálů.

Samotný rozvoj výroby i aplikace polymerních materiálů je podporován zatím příznivou surovinovou základnou, jež je založena na ropě jejíž celosvětová spotřeba neustále roste (viz obr. 2.2). Bohužel však žádné přírodní ložisko není nevyčerpatelné.



Obr 2.2 Prognóza celosvětové spotřeby ropy [3]

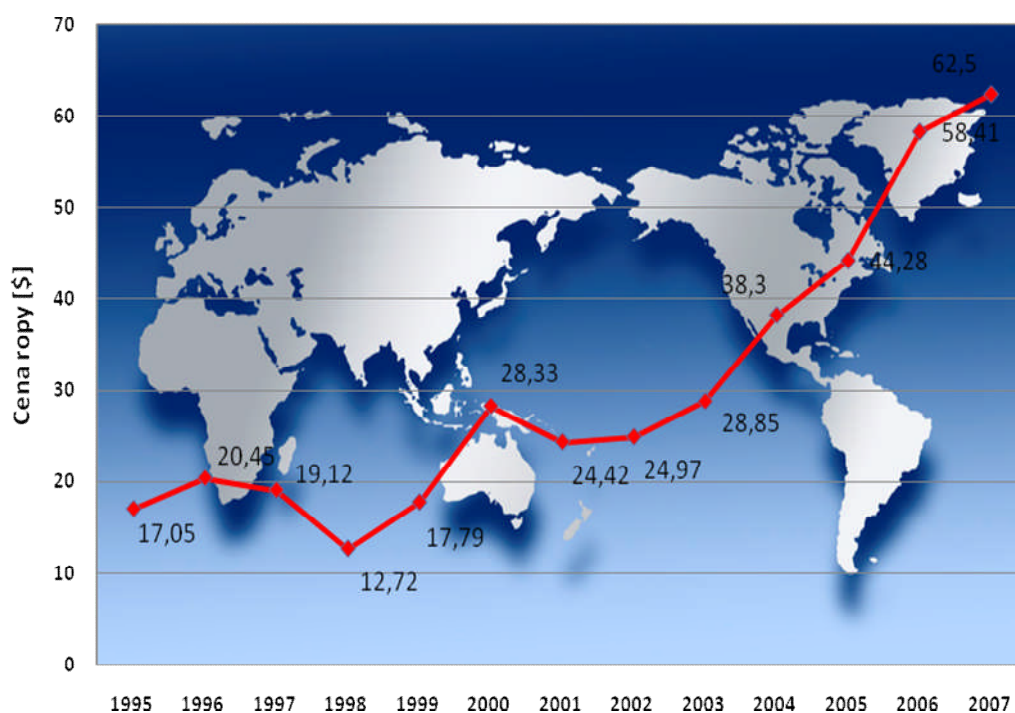
Dlouhodobými předpověďmi vyčerpání zásob ropy, případně i dalších fosilních paliv, se zabývá tzv. Hubbertova teorie ropného vrcholu (viz obr. 2.3). Vycházíme-li z předpokladu, že zdroje ropy jsou neobnovitelné, tak v okamžiku, kdy bude vytěžena přibližně polovina všech světových zásob dosáhne těžba ropy nevyhnutelně svého vrcholu, od kterého začne postupně klesat. Z důvodů klesajících zásob bude cena těchto surovin růst.



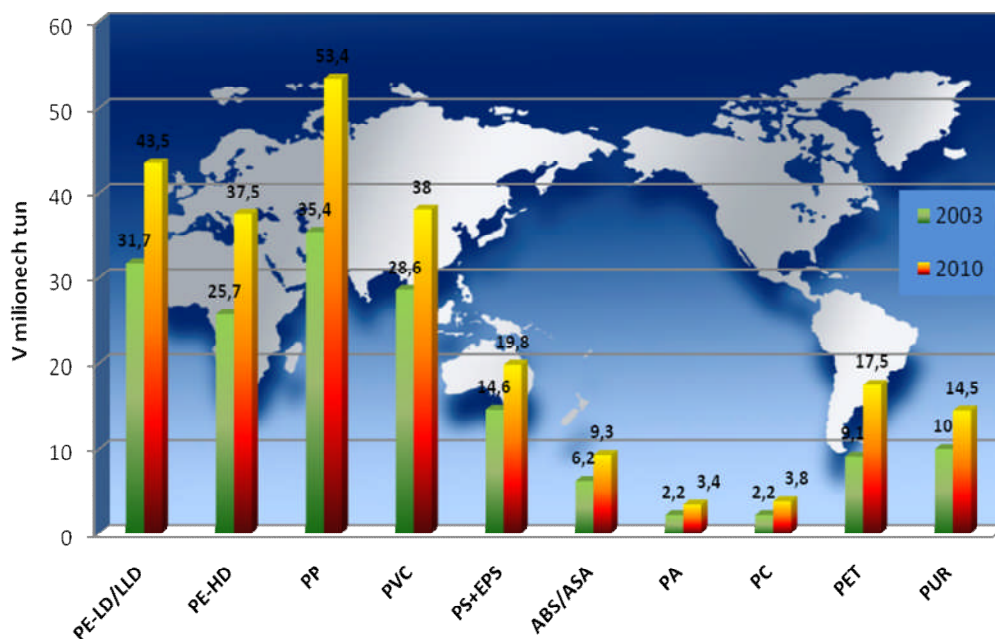
Obr 2.3 Hubbertova křivka dlouhodobé předpovědi těžby ropy [4]

Hubbertova teorie je znepokojivá hlavně proto, že v současnosti neexistuje dostatek jiných alternativních zdrojů, které by mohly ropu plně

nahradit. Z obr. 2.3 je zřejmé, že ropný vrchol (konec levné ropy) nastává kolem roku 2007, pro zemní plyn to je asi o 10 let později. Z tohoto důvodu je uvažováno i o jiných alternativních způsobech získávání polymerního materiálu. Jednou z možností je také opětovné využití polymerního odpadu. K zamyšlení se nad možností využití recyklace k výrobě nových polymerních dílů však nutí výrobce stále především požadavek na snížení nákladů spojených s výrobou polymerního dílu, případně snížení podílu panenského materiálu při jeho výrobě, neboť vývojový trend cen panenského materiálu má stále stoupající tendenci, jenž je zapříčiněn stále stoupající cenou ropy (viz obr. 2.4) a velký zájem o výrobky z polymerních materiálů, což vyplývá rovněž z dostupných prognóz světové spotřeby plastů (viz obr. 2.5).



Obr 2.4 Vývoj cen ropy od roku 1995 do 2007 [3]



Obr. 2.5 Světová spotřeba jednotlivých typů plastů [3]

Z výše uvedeného vyplývá, že k použitým plastům se nelze stavět pouze jako k odpadu, který je možno nechat na skládce a je nutno jej recyklovat. Tedy využít materiálovou nebo energetickou podstatu výrobku po ukončení jeho životnosti. Je zřejmé, že nejvyšší ekonomický přínos má recyklace výrobku z materiálu s vysokými energetickými nároky na jeho výrobu a nízkou energetickou náročností opětovného přepracování. Energetickou úsporu při využití separovaných surovin k výrobě materiálů dokládá tab. 2.1.

Tab. 2.1 Úspora energie při využití separovaných druhových surovin [5]

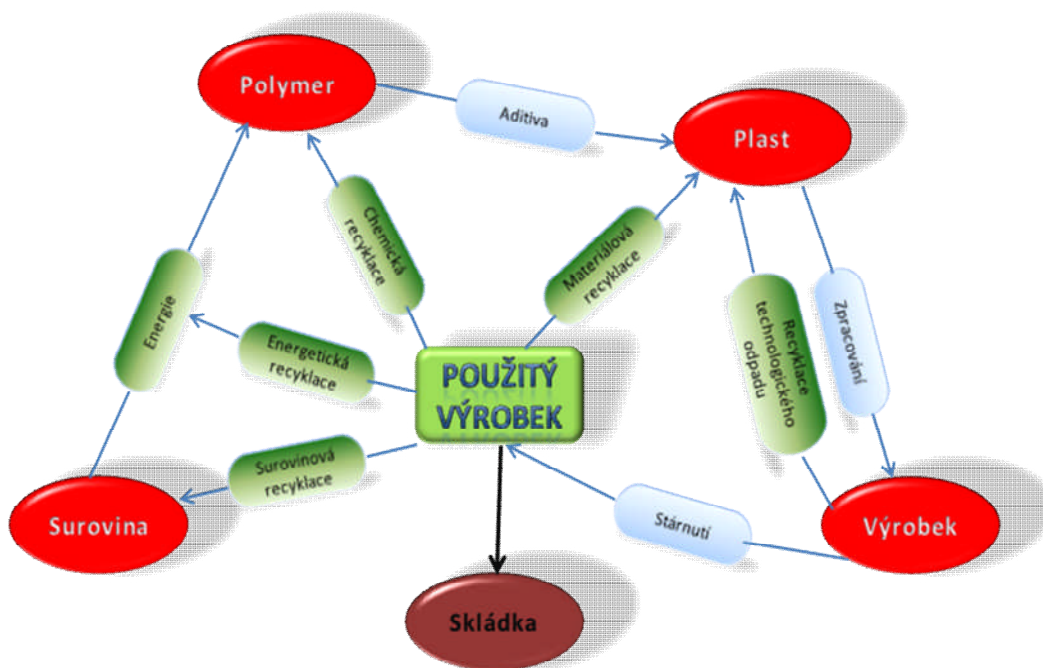
Materiál	Spotřeba el. energie při výrobě [ kWh/t ]		Úspora [ % ]
	Z prvotních surovin	Z druhotných surovin	
Papír	5700	4200	26
Sklo	5000	2860	43
Ocel	4270	1666	61
Přýž	13310	2770	79
Plasty	11900	700	94
Zinek	10000	500	95
Hliník	65000	2000	97

## 2.1 Možnosti recyklace [6], [7], [8]

Při samotné výrobě polymerních dílů dochází ke vzniku technologického odpadu, což jsou vadné výrobky, přetoky, vtokové soustavy při vstřikování atd. Opětovné zpracování technologického odpadu spočívá v jeho rozdrcení a případně v následné regranulaci. Drť nebo regranulát se opět použije ve výrobě. V odborné literatuře je uváděno, že přidání 5% až 15% takového materiálu by nemělo ovlivnit mechanické vlastnosti finálního výrobku. Ovšem v polymerním materiálu může dojít vlivem jeho používání k nežádoucím změnám způsobených vlivem vnějších faktorů, mezi které lze zařadit teplo, světlo či chemické či mechanické zatížení, což má za následek stárnutí plastu a změnu jeho původních vlastností. Tyto procesy stárnutí výrobku mohou v konečném důsledku zabránit jeho opětovnému použití, neboť by se u nových výrobků z recyklovaného materiálu nedosáhlo požadovaných vlastností. V neposlední řadě je nutné zmínit i nebezpečí kontaminace materiálu nečistotami, které by ztížily možnosti jeho opětovného použití.

Nejvyšší ekonomický efekt přináší recyklace výrobků obsahující materiály s velkým rozdílem mezi energetickými nároky na jejich výrobu a energetickou náročnost jejich opakovaného zpracování. Recyklace plastů je stěžována skutečností, že většina objemu odpadní suroviny pochází z druhově netříděného komunálního sběru a sestává se z poměrně velkého počtu vzájemně nemísitelných druhů polymerů. Nejvýhodnější je pro recyklaci, jak z hlediska technologického, tak také ekonomického, recyklaci druhově roztříděný odpad. U polymerních výrobků existují v podstatě čtyři základní způsoby recyklace (viz obr. 2.6):

- Surovinová recyklace
- Chemická recyklace
- Energetická recyklace
- Materiálová recyklace



Obr. 2.6 Recyklační cyklus [6]

### 2.1.1 Surovinová recyklace

Surovinová recyklace se vztahuje na silně znečištěné směsi různorodých polymerních materiálů, z nichž není prakticky téměř možné získat materiálovou recyklací kvalitní materiál. Principem surovinové recyklace je teplotně destrukční proces rozkládání polymerní složky (vstupní suroviny) na směs plyných a kapalných uhlovodíků. Výstupním produktem jsou tedy energeticky využitelné plyny a směs kapalných uhlovodíků, jež lze využít jako topné oleje nebo petrochemickou surovinu k výrobě nového polymeru. Hlavní předností surovinové recyklace jsou nízké nároky na kvalitu vstupního materiálu a široká využitelnost vzniklého syntetického plynu v chemickém průmyslu.

Surovinové zhodnocení odpadních plastů může být provedeno na základě hydrogenace (vysokotlaký katalytický proces), nebo pyrolýzy (nízkotlaký proces, vyšší teplota). Produktem hydrogenačních procesů jsou převážně kapalná uhlovodíky, zatímco pyrolýzní procesy vedou k plyným produktům a koksu. Technologicky i ekonomicky jsou výhodné postupy založené na společném zpracování odpadních plastů s uhlím. Za nejnadějnější se dnes považuje společné zkapalnění, i když je to investičně

nejnákladnější technologie. Produkuje však převahu nasycených uhlovodíků, v podstatě lehkou syntetickou ropu.

Přístup k využití odpadních plastů se v různých zemích liší. V Německu je v současné době spíše preferováno společné zplynění, zatím co například ve Spojených státech amerických je vývoj orientován na společné zkapalnění.

Australská společnost Ozmotech expanduje do Evropy s metodou výroby tzv. „zelené“ nafty z odpadních plastů. Technologie, označovaná jako ThermoFuel, vyrobí z jednoho kilogramu plastů až 950 ml paliva, které lze využít ve vznětových motorech. Technologie se používá několik let úspěšně v Japonsku. V důsledku zvyšujících se cen ropy a většího tlaku na ochranu životní prostředí se však rozšiřuje i do dalších států (Španělska, Velké Británie, a pod). Jednotka ThermoFuel dokáže vyprodukovat 9500 litrů vysoce kvalitního syntetického paliva z 10 tun odpadního plastu, přičemž denní kapacita se pohybuje od 10 do 20 tun. Patentovaný proces zahrnuje směs zkapalňování, pyrolýzu a katalytický rozklad vstupní suroviny. Podle autorů je výhodou, že proces dokáže zpracovat teoreticky veškeré plasty, které běžně končí na skládce. Zejména je však vhodný pro polypropylen, polyetylen a polystyren (PP, PE, PS). Netříděné plastové odpady mohou být zpracovány přímo bez předchozího třídění a to i když obsahují zeminu, hliník, tiskařské barvy, zbytky olejů a podobně. Odhaduje se, že do dvou let bude tato technologie v Evropě produkovat kolem 200 mil. litrů nafty s nízkým obsahem síry, čímž se ušetří 200 000 tun plastů před uložením na skládky a také spotřeba ropy k výrobě motorových paliv. Vzhledem k množství dostupné suroviny však může kapacita systému v Evropě dosáhnout 800 až 900 mil. litrů vyrobeného paliva.

Také USA vyhlásily nový konverzní proces, který přepracovává plastové odpady na vysoce kvalitní motorový olej. V laboratorním experimentu vytvořila společnost Chevron ve spolupráci s University Kentucky olej na bázi polyetylenu. Autoři tvrdí, že jeho využití jako paliva zlepší ekonomiku a sníží nutnost výměny motorového oleje. Pro stát, který produkuje kolem 25 mil. tun plastového odpadu každý rok, by tato technologie měla významný potenciál vlivu na životní prostředí – ať už jde o snížení skládkování nebo o úsporu primárních zdrojů.



**Výhody pyrolýzních postupů:**

- nízké nároky na kvalitu vstupní suroviny (podobné jako při spalování)
- vysoká konverze zpracovaného materiálu na produkt (více než 90%)
- kapalně produkty jsou zpracovatelné společně se surovou ropou

**Nevýhody pyrolýzních postupů:**

- vysoké investiční náklady na technologické zařízení
- cena kapalných produktů mírně překračuje cenu surové ropy

**2.1.2 Chemická recyklace**

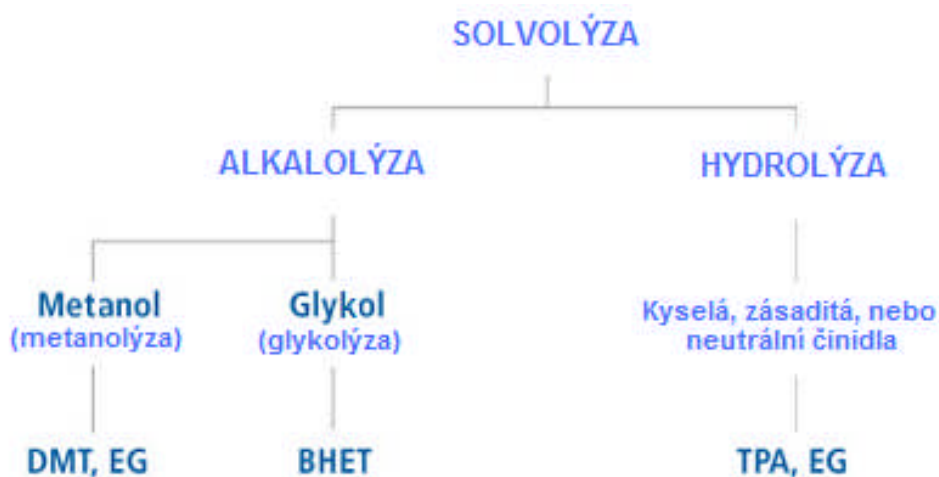
Chemická recyklace je založena na chemickém rozkladu polymeru na produkty o podstatně nižší molární hmotnosti (oligomery), nebo až na monomerní jednotky a dalším chemickém zpracování takto získané suroviny.

Nejjednodušším případem chemické recyklace je tepelná depolymerace, kdy se polymerní řetězec štěpí na monomerní jednotky. Tímto způsobem jsou depolymerovány např. polystyren (PS) nebo polymethylmetakrylát (PMMA). Získané monomery je možné bez výrazných problémů opět polymerovat na panenský polymer původní kvality. Poměrně malá spotřeba těchto materiálů a tedy i jejich malý podíl v plastovém odpadu, nevede k rozšiřování tohoto recyklačního postupu.

Většího praktického významu doznaly procesy založené na rozkladu polykondenzátů souhrnně označované jako solvolýza (viz obr. 2.7 a obr. 2.8). Tímto způsobem je možné recyklovat materiály na bázi polyamidů (PA), polyuretanů (PUR) a zvláště pak lineárních polyesterů, polyethyltereftalátu (PET) a polybutyltereftalátu (PBT). V průmyslovém měřítku je tento postup využíván zejména pro recyklaci PET, např. proces metanolýzy PETRETEC.

Lineární polyesteru mohou být rozkládány také na principu reesterifikace přebytkem příslušného diolu. Tento princip je prakticky využíván při glykolýze PET na oligomerní polyoly, tj. surovinu pro výrobu nového PET, polyesterových pryskyřic, nebo polyuretanových lehčených materiálů. Glykolýza PET je citlivá na přítomnost cizorodých látek.

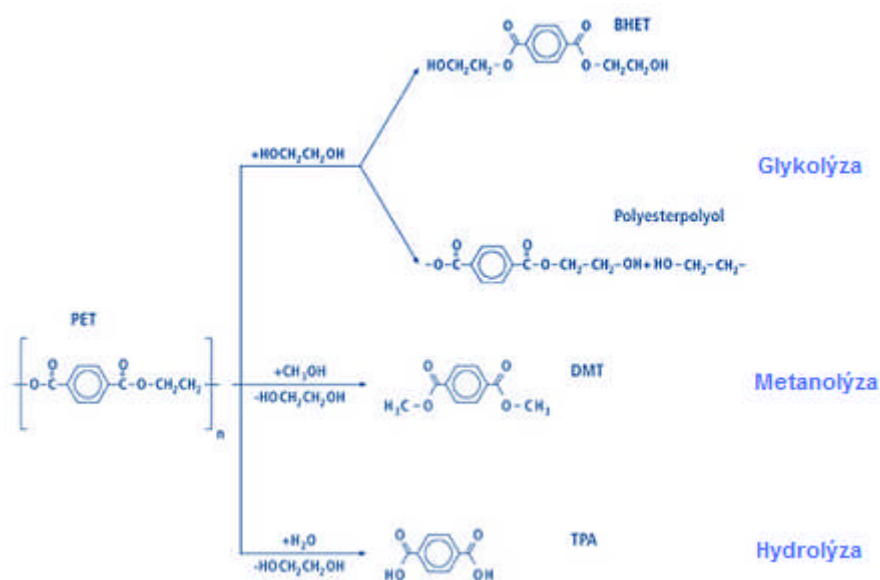




Obr. 2.7 Metoda solvolýzy pro PET [7]

### Výstupní produkty solvolýzy:

- DMT.....Dimetyl-tereftalát
- EG.....Etylenglykol
- BHET....Bis-(2-hydroxyetyl) tereftalát
- APP.....Polyesterové polyoly
- TPA.....Kyselina tereftalová
- PHT.....Polyhydroxyetyltereftalát, který lze použít přímo na nový PET



Obr. 2.8 Solvolýza PET – přehled reakčních rovnic [7]

### Výhody chemické recyklace plastového odpadu:

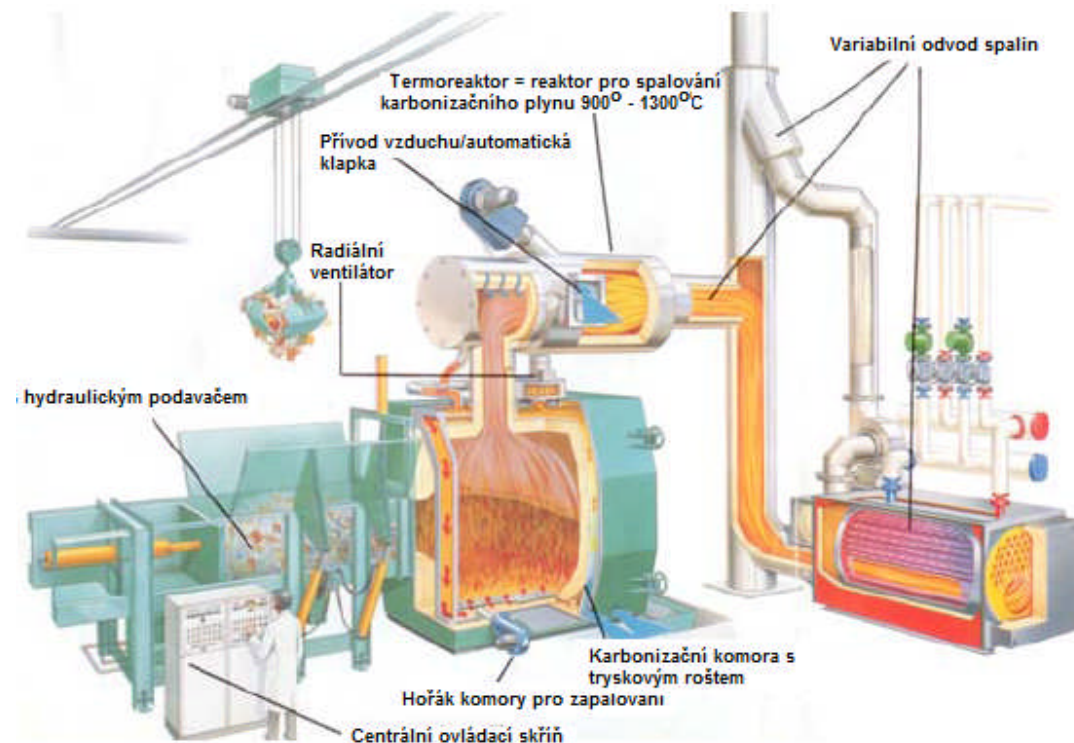
- konečným produktem je panenský polymerní materiál

### Nevýhody chemické recyklace plastového odpadu:

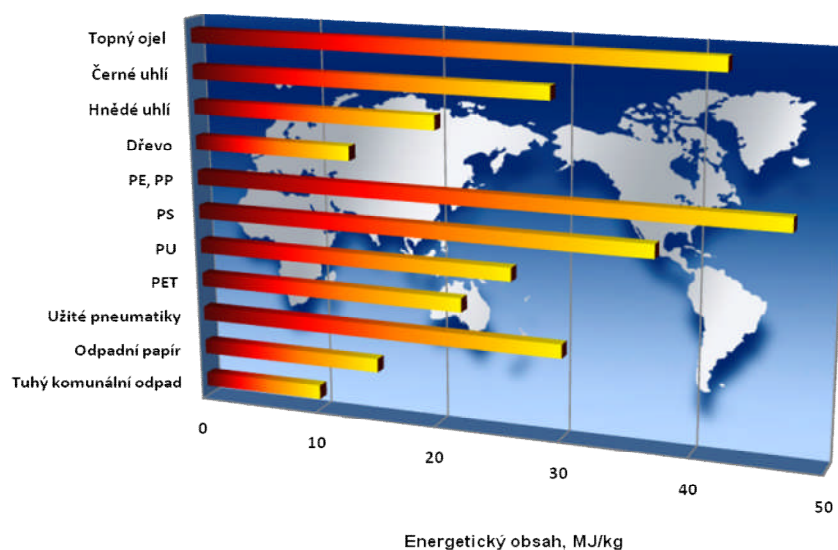
- surovina musí být druhově vytríděna
- vysoké investiční náklady na zařízení (a licence)
- praktická uskutečnitelnost jen v podmínkách chemického průmyslu ve spojení s již existujícími procesy (např. s polymerační jednotkou)

### 2.1.3 Energetická recyklace

Získání energie spalováním plastového odpadu (viz obr. 2.9) je zdánlivě nejjednodušší způsob jeho využití. Pro tento způsob využití plastového odpadu jsou příznivé i poměrně vysoké hodnoty spalného tepla polymerů (viz obr. 2.10). Energetická využitelnost plastů (zejména polyolefinů) je vyšší, než u černého uhlí a je blízká ropným palivům.



Obr. 2.9 Schéma spalovny [8]



Obr. 2.10 Porovnání energetického obsahu plastů s vybranými druhy paliva a odpadu [8]

### Výhody spalování plastového odpadu:

- lze využít směsné (vrstvené) materiály obsahující papír, hliníkové folie
- bezpečně jsou rozloženy potenciálně nebezpečné složky odpadu (např. bakteriologické znečištění a toxické zbytky původního obsahu obalů)

### Nevýhody chemické recyklace plastového odpadu:

- poměrně malá účinnost spalování (ztráty tepla, nedokonalé spálení paliva)
- vznikají nebezpečné plynné i pevné produkty, které je nutné následně likvidovat (zvýšení provozních nákladů)
- odpor veřejnosti k provozu spaloven v blízkosti obytných sídel

### 2.1.2 Materiálová recyklace

Nejúčinnější využití surovinového a energetického vkladu do původního plastu umožňuje materiálová (nebo též fyzikální) recyklace. Tento způsob recyklace zahrnuje procesy od nejjednoduššího mletí upotřebených výrobků a následné tepelně mechanické zpracování meliva pro výrobu nových výrobků, až po kompatibilizační postupy v tavenině, sloužící k přípravě vícesložkových materiálů ze směsí odpadních plastů. Materiálová recyklace

je založena na dodávce tepelně mechanické energie a aditiv (stabilizátorů, barviv případně i plniv) pro přetvoření odpadních surovin na nový materiál, s mechanickými i estetickými vlastnostmi blízkými panenskému polymeru. Může-li recyklát v aplikační oblasti nahradit hodnotný panenský plast, tedy má-li požadovanou jakost, je ekonomická bilance této recyklace příznivá. Na operace čištění, separace cizích látek a zdrojů kontaminace, mletí a přetavení se spotřebuje přibližně 15% ekvivalentní energie panenského materiálu. Ekonomický efekt recyklace se však strmě snižuje s omezením praktického uplatnění recyklátu v důsledku jeho nižší kvality. Kvalita recyklátu je silně závislá na charakteru vstupní suroviny. Pravděpodobnost získání kvalitního recyklátu klesá v řadě:

- typově tříděná surovina
- druhově tříděná surovina
- částečně tříděná surovina
- netříděná surovina

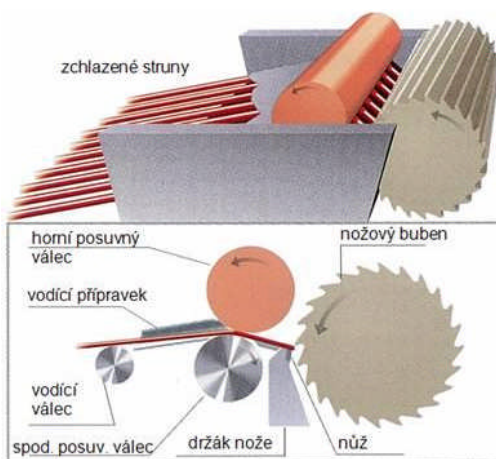
Typem je myšleno označení polymeru obchodním názvem se zakódovanými vlastnostmi, aplikačními vlastnostmi a zpracovatelností. Druhové třídění polymerů se rozděluje dle chemického složení a molekulární struktury. Jedno druhová recyklace, neboli druhově a typově tříděná, je široce využívána. Tento typ odpadního materiálu je tvořen granulemi nevyhovujících rozměrů, vtakovými soustavami, ořezy hran a výrobky vyřazenými vstupní kontrolou, jedná se o tzv. technologický odpad. Po třídění surovin následuje již výše uvedené mletí, regranulace a opětovné zpracování na požadovaný výrobek. Odpadní polymery z komunálního sběru nebývají ovšem tříděny. Proto je žádoucí využít technologii zvláště vyvinutou pro zpracování směsného odpadu, při níž dochází k míchání směsi polymerů v tavenině ve speciálním extruderu s vysokou hnětací účinností a následně k vytlačování taveniny do formy. Jedná se technologii tzv. intruze. Recyklát směsi odpadního plastu je obvykle zpracováván na výrobky tvarově kopírující obdobný sortiment ze dřeva: latě, prkna, obkladové desky, hranoly i kulatiny. Tímto způsobem lze snadno získat výrobky velkých objemů, ale s nepříliš dobrými mechanickými vlastnostmi.

## 2.2 Třídění a zpracování plastů [9], [10], [11], [12]

Požadavky spojené s primárními surovinovými zdroji (např. cenou, množstvím) lze snížit zavedením bezodpadových technologií spočívajících ve zpětném navracení odpadu do výroby. Hlavním důvodem, který vede výrobce k zpracování odpadu a recyklaci neshodných výrobků, se do jisté míry stává vysoká cena plastu. Samotnému zpracování odpadu musí předcházet poctivé roztřídění dle druhu a odstranění cizího materiálu, aby nemohlo dojít ke kontaminaci. V odlišném případě je nutno najít jiný způsob likvidace polymerního odpadu. Přistoupíme-li k samotné výrobě, je možné rozdělit vznikající odpad na technologický a užitný. Do technologického odpadu spadají vtoky, rozváděcí kanály, přetoky, odstříky, aj. V zájmu každého výrobce by mělo být vrácení tohoto odpadu zpět do výroby, jako vstupního materiálu, s ohledem na energetickou náročnost výroby polymerů (na 1t plastu se spotřebuje 2,5t ropy). Tato kategorie odpadu poskytuje relativně hodnotný materiál, jenž je srovnatelný s doposud nezpracovaným materiálem. Užitný odpad zahrnuje naopak výrobky po uplynutí své funkční doby. V této kategorii se vyskytují polymery více či méně znehodnoceny stárnutím a bývají kontaminovány.

Vlastní zpracování odpadu lze rozdělit dle stupně kontaminace:

- čistý tříděný odpad vznikající přímo při zpracování
- znečištěný tříděný odpad
- čistý netříděný odpad
- znečištěný netříděný odpad



Obr. 2.11 Granulace strun [12]

Nezbytným předpokladem pro účelné využití polymerního odpadu je po technologické i ekonomické stránce dobrá znalost výroby a zpracování výrobku. Je potřebné si uvědomit původ odpadu a zda byl materiál jen drcený či drcený a následně regranulovaný (viz obr. 2.11). Používání drceného polymerního odpadu (drtě)

k opětovnému zpracování je výhodné u tepelně citlivých materiálů, jelikož nedochází k dalšímu tepelnému namáhání při regranulaci. Nevýhodou je



Obr. 2.12 Horkovzdušná sušárna  
[12]

však stálá rozdílná velikost drcených nebo mletých částic a zvýšený prachový podíl v drti. Regranulát je možné použít tam, kde nedochází k ovlivnění požadovaných vlastností materiálu předchozím tepelným namáháním. Z pohledu tvaru vstupních částic je regranulát ekvivalentní k původnímu materiálu, avšak vyžaduje dokonalé vysušení namletého odpadu (viz obr. 2.12) a je značně energeticky náročný.

Pro zpracování polymerního odpadu, jsou v současné době k dispozici zařízení umožňující jeho zpracování na drť (regenerát), regranulát a výrobek v kvalitě za přijatelné náklady, tj. mlýny, regranulační linky, manipulátory, mísiče, apod.

### 2.2.1 Mletí a drcení

Mletí a drcení má hlavní význam při zpracovávání technologického odpadu. Zpracováním tohoto odpadu se zachraňují značná množství cenného materiálu. Rozemletý materiál se zpravidla zpracuje na vytlačovacích strojích na granulát a ten se v určitém poměru mísí s paneským materiálem nebo se zpracuje samostatně. Postup při němž je materiál rozměľňován na prášek je nazýván většinou mletím, drcením jsou získávány větší částice (tj. drť). Rozdíl mezi mletím a drcením není významný, a proto dochází v praxi k častému zaměňování těchto pojmů.

K mletí (drcení) je využíváno tlaku, řezu či smyku, přičemž síla může působit klidně, resp. nárazem. Pro volbu způsobu mletí (drcení) jsou důležité fyzikální vlastnosti mletého materiálu, čili tvrdost a charakter lomu, jakožto i cíl, jehož chceme dosáhnout (např. tvrdý materiál se lépe rozměľňuje nárazem). K mletí (drcení) se používají různé druhy mlýnů. Pokud je



rozemletý materiál smíchán s panenským materiálem a takto namíchaná směs je pak dále použita pro zpracování (např. vstřikování), měla by mít drť přibližně stejnou velikost a tvar jako granulát panenského materiálu. Pokud by se velikosti jednotlivých složek od sebe podstatně lišily, pak by mohly vzniknout problémy při plastikaci (zvýšení doby plastikace) takto namíchané směsi polymerního materiálu s regenerátem.

Mlýny (drtiče) slouží k rozdrčení průmyslového odpadu, jako jsou plasty, pryž, aj. Dochází tím k usnadnění jeho dalšího zpracování či likvidaci. Použít lze různé druhy mlýnů, např. nožový, kladivový, třecí, talířový či kulový. Nejčastěji používaný je nožový mlýn (viz obr. 2.13). Princip mletí na tomto mlýnu spočívá ve stříhání materiálu pracovními nástroji (noži) uloženými radiálně na statoru i přímo na rotoru stroje. Velikost a tvar výsledné drtě je dána velikostí otvorů v sítu, jež je umístěno pod pracovní dráhou rotoru.



*Obr. 2.13 Nožový mlýn včetně nožových rotorů s různým uspořádáním nožů [11]*

### **2.2.2 Granulace**

Posledním krokem při zpracování technologického odpadu, pokud chceme získat regranulát, je granulace, jejíž výsledný materiál má tvar granulí vhodných pro další zpracování. Z praktického hlediska je žádoucí,

aby došlo v plastikační komoře stroje k rovnoměrnému prohřátí částic materiálu a tavenina byla homogenní. Lze předpokládat, že by nestejně velké částice v důsledku nerovnoměrného prohřátí materiálu měly negativní vliv na homogenitu taveniny a tím docházelo k ovlivňování mechanických vlastností výlisku. Je proto žádoucí, aby bylo docíleno stejné velikosti částic drtě (viz obr. 2.14), resp. granulátu (viz obr. 2.15).



Obr. 2.14 Drť regenerátu



Obr. 2.15 Granulát

Přednost granulí spočívá v nenáročném míchání, např. s jinými materiály či barvami a v jejich nízké sypné hmotnosti, což vede k dobrému dávkování. Získá-li se granulát z již jednou zpracovaného materiálu k výrobě nového, stejného výrobku, nazývá se regenerátem. Mezi běžné tvary granulátu se řadí kuličky, krychličky, čočky a válečky.

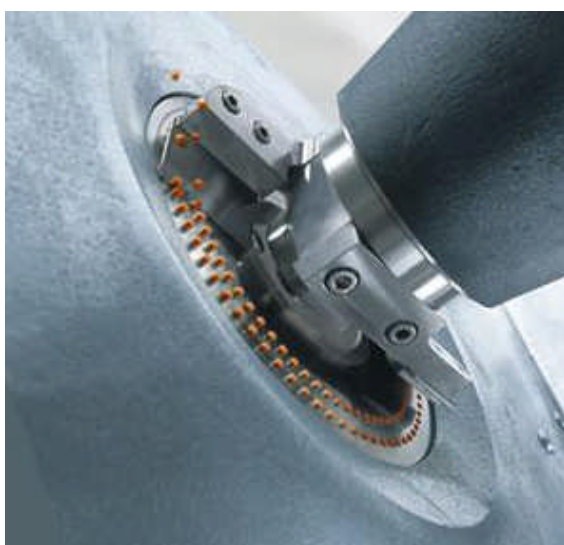
Pro výrobu regranulátu z polymerního odpadu, ale také pro výrobu granulátu s příměsí různých aditiv (např. koncentrátů barviva, plniva, retardéry hoření apod.), se používají různé regranulační nebo resp. granulační linky:

➤ **Technologické linky pro granulaci s vodním chlazením:** V linkách tohoto druhu se sekání (řezání) vytlačeného plastu odehrává za horka bezprostředně na desce hlavice s otvory a polymer se mění na granulát. Zařízení jsou vybavena na bázi jednošnekových vytlačovacích strojů, bez nebo s odplynováním. Plast (polymer + přísady) se dodává do skluzného násypného koše vytlačovacího stroje odkud je odebírán šnekem. Při zvýšené teplotě a v důsledku třecích sil otáčejícího se šneku v komoře dochází



k plastikaci a následné homogenizaci taveniny. Šnek vytlačuje plastifikovanou hmotu přes filtr se soustavou určených sít do granulační hlavice s několika otvory a s vertikálním otvorem pro tok plastu. Ihned po odchodu z hlavice je vytlačovaný plast řezán 4-nožovým zařízením s regulací rychlosti otáček. Odsekuté granule postupují ve směru vodního prstence chladicí komorou. Voda je chladí a zároveň transportuje speciálním kanálem, který má vstupní prostor pro oddělení vody a vstupní místo do odstředivé sušičky. V sušičce je umístěn buben, v němž je polymer lopatkovým systémem otáčen uvnitř krytu z děrovaného plechu. Zde dochází k odstranění vody, vysušení granulátu a dopravě do vibračního oddělovače, kde dochází na pohyblivých sítích k rozdělení produktu podle stanovené velikosti zrn. V lince je využit uzavřený oběh vody, pumpa, zařízení pro kontrolu teploty s elektromagnetickým uzávěrem vody a studená voda je přiváděna z vodovodní sítě.

➤ **Technologické linky pro granulaci metodou řezání za horka:** Prášek nebo mletá hmota je dávkován do násypného koše a následně do plastikační jednotky vytlačovacího stroje. Zde dochází k její plastifikaci a homogenizaci a pomocí šneku je vytlačována do hlavice, kde dochází k tvarování granulátu, který je v plastickém stavu. Těleso hlavice (viz obr. 2.16) je ohříváno dvěma topnými tělesy s regulací teploty. V přední části hlavice se nachází deska s



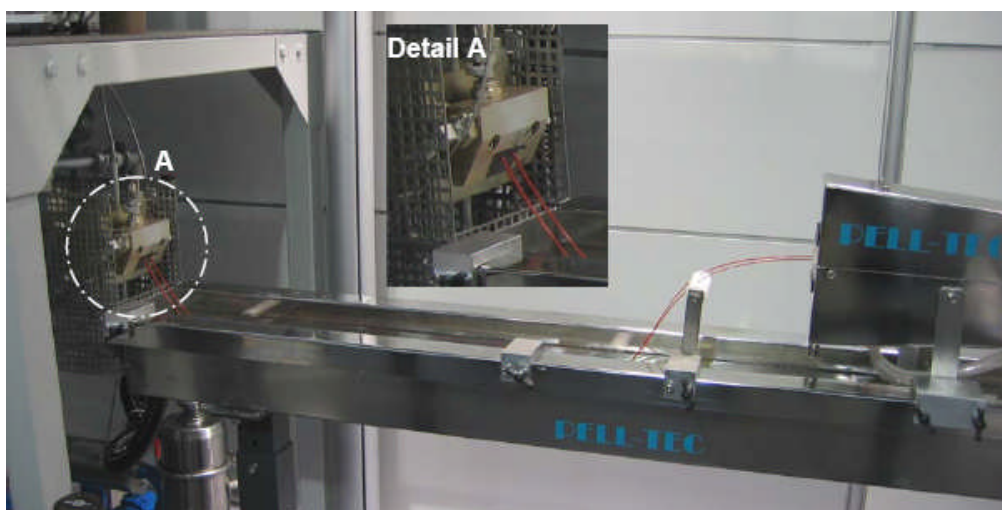
Obr. 2.16 Hlavice s nožovou hlavou pro výrobu granulátu [12]

otvory, kde jsou granule upraveny na potřebné rozměry. Délka granulátu je regulována rychlostí otáček nožů, které spolu s motorem tvoří nožovou jednotku, která je uchycena v závěsu tělesa hlavice. V tělese hlavice se nacházejí také dva propustníky vzduchu, regulující stupeň chlazení otvorové desky. Granulát je pneumaticky dopravován z hlavice „rourovým“ vedením do chladicího zařízení,

kde je granulát ochlazován. Maximální teplota chlazeného granulátu není vyšší jak 50°C.

➤ **Technologické linky pro granulaci metodou řezání za studena:**

Linky umožňují granulovat polymer v tuhém stavu, po jeho ochlazení. Touto metodou je možné granulovat téměř všechny termoplasty s výjimkou velmi křehkých polymerů. Linky pro granulaci za studena (viz obr. 2.17) jsou vyrobeny na bázi současných jednošnekových vytlačovacích strojů, ve kterých je zpracovávaný polymer plastikován a ve formě taveniny vytlačován šnekem do několika otvorové hlavice. Vytlačované struny jsou za účelem ochlazení a ochrany proti slepení dopravovány do chladicí vodní vany a následně sušeny vzduchovým chladičem. V konečné fázi jsou vytlačené struny řezány na granule (viz obr. 2.11) pomocí válcové frézy. Hotový granulát je násypkou nasměrován na síta vibračního zařízení pro vyloučení nepořezaných vláken a granulí o nevyhovujících rozměrech. Tyto linky musí být vybaveny zařízením pro filtraci plastů, zejména pro regeneraci odpadů.



Obr. 2.17 Granulační zařízení [12]

### 2.3 Forma organizované recyklace [13]

Výrobní procesy určené ke zpracování polymerního odpadu vedou k vytvoření řetězce postupů, jež spolu nemusí často místně ani časově

souviset. Účelně lze rozeznat dvě základní formy organizované recyklace technologických odpadů:

- podnikovou recyklaci
- mezipodnikovou recyklaci

Rovněž je možné uvažovat i o další formě recyklace opotřeбенých výrobků, které již ztratily svojí užitnou hodnotu.

### 2.3.1 Podniková recyklace

Odpady, jež vznikají výrobní činností, jsou při této formě recyklace využívány v tomtéž podniku jako vstupy do výrobních procesů. Ideálním případem, jenž tvoří rozhraní recyklačních technologií, která je doplňkem technologického procesu a bezodpadovou technologií, je opakované využívání polymerního odpadu jako vstupu ve stejném výrobním procesu. Obvykle bývá i opětovné využití odpadu v navazujících výrobních procesech. Podnikovou recyklací vzniká dynamicky se rozvíjející cyklus, kdy po spolupůsobení více postupů zpracování odpadů (zachycení, oddělení, vytřídění a úprava) jsou odpady vznikající při výrobě opětovně využity. Podniková recyklace může být utvářena jako uzavřený nebo naopak jako otevřený cyklus, u něhož však vyvstává potřeba samostatného organizačního útvaru

- Uzavřeným cyklem recyklace lze rozumět způsobu, při kterém se využívá cyklického zpracování odpadu ve formě drti. Recyklační jednotka, do



Obr. 2.18 Pásový dopravník [11]

níž spadá mlýn či drtič, manipulátory a dopravní zařízení pro polymerní odpad i drť, je umístěna přímo na vstřikovacím stroji. Jedná-li se o využití odpadu i z jiných strojů, je nutné zajistit dopravu odpadu ze všech uvažovaných strojů s recyklační jednotkou. Ovšem pro provedení takového způsobu by měly být přímo v provozní hale

uspořádány stroje organizačně tak, aby mohly být využity manipulátory, případně dopravní pásy (viz obr. 2.18) sloužících pro dopravu vtoků,

odřezků, zmetků atd. k recyklační jednotce bez narušení obsluhy a ostatní pracovní činnosti. Technologický odpad je dopraven manipulátory přímo k recyklační jednotce, kde je následně zpracováván v mlýnu na drť, jejíž velikost je stanovena pomocí sít a jež je dopravována dopravníky až k mísiči (dávkovacím zařízením), kde je přidávána k panenskému materiálu v předem daném procentuálním zastoupení. U tohoto způsobu formy organizace recyklace se recyklát opětovně vrací do procesu, bez toho, aby byl hlídán počet jeho průchodů tavicí komorou vstřikovacího stroje. Vzniká riziko ovlivnění jakosti výrobku, které by bylo způsobeno několikanásobným průchodem části jednou již použitého regenerátu tavicí komorou. Jakost výrobků by tedy závisela na velikosti zmetkovitosti resp. na zastoupení regenerátu v panenském materiálu.

➤ Mezi další formu podnikové recyklace patří otevřený cyklus. Používá mlýn či drtič umístěný na zvláště vyhrazeném místě v provozní hale. Pokud není možnost z prostorových (hygienických) důvodů zařadit mlýn přímo do haly, umístí se mimo provozní halu. Odpadní materiál je pomocí manipulátorů a dopravního systému postupně ukládán do přistavěných kontejnerů, odkud je po jejich naplnění přesouván k mlýnu a následně rozemlet. Takto připravená drť je použita opět ve výrobě. Její manipulaci, od vzniku odpadu, až po příchod k příslušnému stroji, zajišťuje většinou příslušný pracovník. Avšak při tomto způsobu obsluhy materiálu nelze zajistit požadovanou čistotu bez možnosti kontaminace či přimíchání jiného odpadu, což může být převážně způsobeno selháním technické kázně. Může být využito mechanického zařízení, kam lze zařadit hlavně strojní manipulátory a pásové zařízení, jež zajišťuje uchopení a dopravu až k mlýnu. Z mlýnu drť padá přímo do kontejnerů, je dopravovaná do sušících sil a poté je vhodnými dopravními mechanizmy (viz obr. 2.19) nasávána až k danému vstřikovacímu stroji, kde je v požadovaném poměru přidávána k panenskému materiálu. V případě způsobu dopravy drtě a odpadu k mlýnu umístěného mimo výrobní halu, je nutné uvést i negativní aspekty. Tento způsob je poměrně ekonomicky náročný v důsledku kapitálu vydaného za potřebné zařízení a nelze opomenout i jeho prostorovou náročnost. Velký význam zde proto sehrává již zmíněné nalezení vhodného místa k umístění mlýnu, ale zároveň



i kontejneru a dopravního systému. Avšak, jakožto i u výše uvedeného uzavřeného cyklu recyklace, by nemělo dojít k opomenutí potřebného zajištění bezchybné obsluhy a veškeré ostatní pracovní činnosti.



Obr. 2.19 Dopravní a rozváděcí systém materiálu uvnitř podniku

### 2.3.2 Mezipodniková recyklace

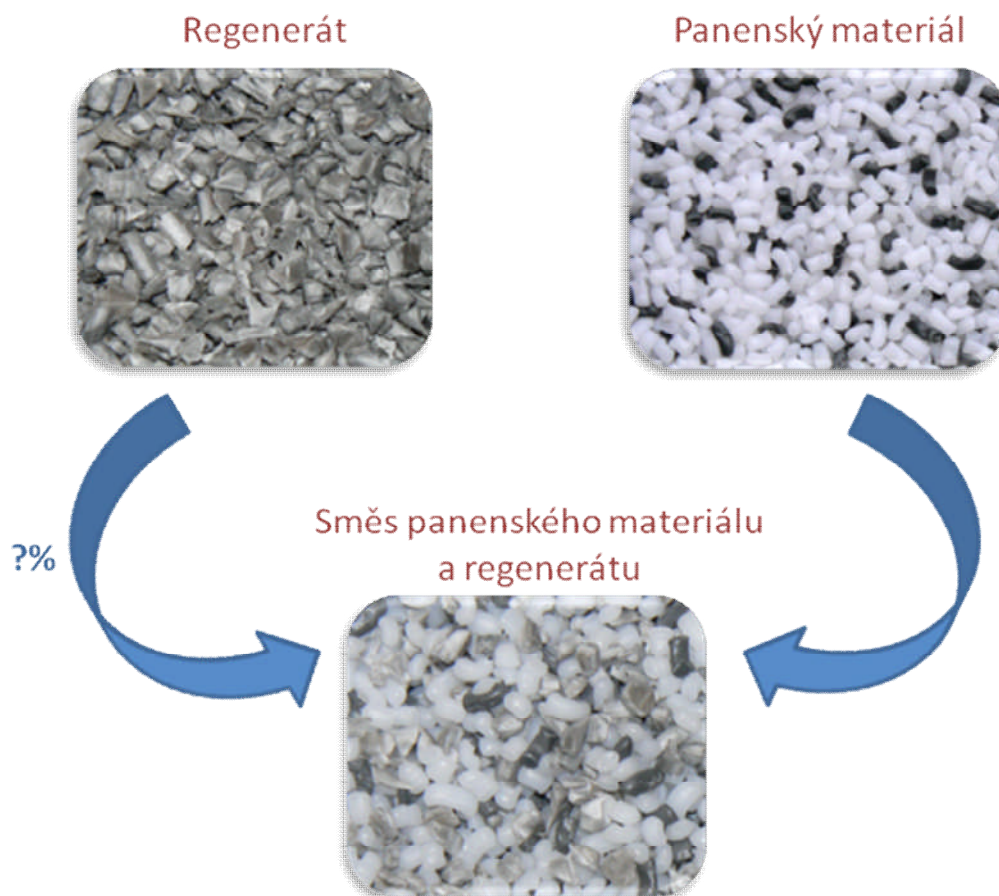
V případě mezipodnikové recyklace dochází k zapojování více samostatných organizačních útvarů, podniků či jiných institucí do systému zabývajícím se zpracováním a využíváním odpadů. Mezipodnikovou recyklaci lze považovat za efektivní metodu využívání vratného odpadu. Jako vhodnější se ukazuje spolupráce několika podniků s odlišným výrobním programem, jež vede k utváření koloběhu odpadů a druhotných surovin. Tímto odpadá hledání potřebného prostoru pro recyklační jednotku, nákup potřebného zařízení, náklady na obsluhu, nezájmu o nabízené výrobky z opětovně zpracovaného odpadu či nezajištění stejné kvality u výrobků v porovnání s panenským materiálem. Ovšem náhrada tradičních surovin odpady získává s ohledem na rychlé pokroky vědy a techniky stále nové možnosti a vyhlídky do budoucnosti.

Mezipodniková recyklace s jednoduchým koloběhem látek vzniká tam, kde jsou odpady z výroby podnikem zabývající se jejich opětovným zpracováním upraveny a poté vedeny jako vstup do podniků, v nichž tyto „odpady“ původně během výroby vznikaly. Po potřebné úpravě mohou být znova používány jako výchozí materiál pro podobné či stejné výrobky. Při takovém to využití odpadu vystává jako příznivý atribut především homogenita samotných polymerních odpadů, jednoduchá úprava i stejné či podobné vlastnosti vzhledem k prvotnímu materiálu.

Naopak typická nutnost úpravy odpadu a jeho následné použití mnohdy k jinému účelu se objevuje při mezipodnikové recyklaci se složitým koloběhem, v němž je začleněno více podniků, odvětví i oborů. Jako žádoucí záměr se projevuje nezbytnost uzavřít tok látek do úplného cyklu, k čemuž slouží použití úpravářských procesů, při nichž dochází k zpracování odpadů fyzikální, chemickou nebo biologickými úpravami. Při mezipodnikové recyklaci se jedná především o realizaci dalšího a zpětného využití odpadů, mimo rozsah jednoho výrobního podniku.

## 2.4 Směs polymeru s regenerátem

Vliv regenerátu na konečné vlastnosti výrobku je dán procentuálním zastoupením regenerátu ve výrobní směsi (viz obr. 2.20), způsobem úpravy a přípravy samotného regenerátu. Všechny tyto faktory ovlivňují finální výrobek. Proto byla v roce 1980 vytvořena norma pro bezpečnost konstrukčních částí UL 746 D. Ta stanovuje bezpečné množství regenerátu v panenském materiálu bez nutnosti provádění příslušné zkoušky. Za bezpečnou hodnotu je normou udáváno 25% regenerátu přidávaného k panenskému materiálu, aniž by došlo k výraznému ovlivnění kvality. Kvalita dílů se musí sledovat zejména u namáhaných konstrukčních dílů, kde by mohlo dojít k zhoršení mechanických vlastností, změně tvaru nebo destrukci dílů. Mezi nejvíce kontrolované díly patří právě díly pro automobilový průmysl, kde by závada mohla mít nedozírné následky. V automobilovém průmyslu je proto z důvodů zajištění maximální jakosti výrobku podíl zastoupení regenerátu v panenském materiálu zpravidla nižší.



Obr. 2.20 Schéma míchání recyklátu s panenským materiálem

Z dosavadních studií provedených na téma recyklace vyplývá, že polypropylen (PP) je materiálem vhodně recyklovatelným. Způsob jeho recyklace však závisí na množství a druhu přísad, jako jsou různé druhy plniv, změkčovadel, retardérů hoření atd. Například při recyklaci polypropylenu plněného skelnými vlákny by mletím a následnou regranulací mohlo dojít ke změně délek, nebo k úplné destrukci těchto vláken a výsledný nový výrobek by se mohl vyznačovat oblastí z různou s různou velikostí a distribucí těchto vláken. Způsob recyklace polypropyleny je ovlivněn také skutečností, že v řadě případů pro technické aplikace se jedná o kopolymery, v automobilovém průmyslu často reaktorově modifikované elastomerem.

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Diplomová práce posuzuje možnosti regenerace lakovaných dílů z polypropylenu na náraznících automobilů vyráběných ve firmě Cadence Innovation, k.s. Liberec. Možnost regenerace lakovaných nárazníků z hlediska vlastností nových výstřiků (výrobního smrštění a mechanických vlastností) a reologie (tekutosti) taveniny je posuzována k vlastnostem výstřiků vyráběných z regenerátů nenalakovaných nárazníků, nalakovaných nárazníků a nárazníků u nichž bylo provedeno chemické odlakování.

#### 3.1 Charakteristika měřeného materiálu [14], [15]

Pro výrobu lakovaných auto dílů, nárazníků, listů a spoilerů (viz obr. 3.1) je používán materiál SABIC PP 95610 + 20MBT, z něhož jsou také vyráběny nárazníky použité pro experimentální část diplomové práce. Na lakování nárazníků jsou používány vodové základové laky, jež jsou výsledkem dlouhodobé snahy o zvýšení bezpečnosti práce snížením obsahu těkavých podílů. Sestávají se ze stejných složek jako laky na bázi rozpouštědel, ta jsou ovšem z velké části nahrazena vodou (65%).



Obr. 3.1 Příklady využití Materiál Kelburon 95610 + 20MBT [14]



### 3.1.1 Základní materiál

Polypropylen SABIC PP 95610 v přírodní barvě je pro zvýšení houževnatosti reaktorově modifikován, což umožňuje kombinaci velmi vysoké houževnatosti (je srovnatelná s běžnými kopolymery), vysokou tuhostí a dobrou zpracovatelností materiálu.

Přidávané množství masterbatche SABIC PP compound 20 MBT (šedý) ve formě granulátu obsahuje minerální plnivo (talek zastoupený 50 hmot. %), mazivo a pigmenty. Číslice 20 vyjadřuje dávkování masterbatche pro docílení koncentrace koncentrace 10% talku ve výrobním materiálu.

Talek (též mastek nebo steatit) -  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$  je anorganické minerální plnivo na bázi křemičitanů. U termoplastů je nejčastěji používán k plnění PP pro zlepšení jeho rozměrové stability. Obsah talku se u jednotlivých typů PP liší a dosahuje až 40%.

Výsledné vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vybrané vlastnosti SABIC PP 95610 orig.+ SABIC PP compound 20MBT [15]

SABIC PP 95610 orig.+ SABIC PP compound 20MBT sedy				
Fyzikální vlastnosti	Podmínky měření	Jednotka	Hodnota	Norma
Hustota	23/50	kg/m <sup>3</sup>	960	ISO 1183
Objemový index toku taveniny	230°C; 2,16kg	cm <sup>3</sup> /10min	5	ISO 1133
Napětí na mezi kluzu v tahu	50 mm/min	MPa	17	ISO 527
Tažnost	50 mm/min	%	500	ISO 527
Modul pružnosti v ohybu	2 mm/min	MPa	1000	ISO 178
Index tekutosti spirály	-	cm	38,21	-
Vrubová houževnatost dle Charpy	23/50	kJ/m <sup>2</sup>	67,5	ISO 179/1 eA
Smrštění na desce	50x50, $T_{tav}=235^{\circ}C$	%	1,15	ISO 294-4
Tvarová stálost R75	1,80 MPa	°C	85	ISO 75
Tvarová stálost za tepla Vicat	A50	°C	120	ISO 306
Minimální zpracovatelská teplota	-	°C	200	-
Maximální zpracovatelská teplota	-	°C	270	-

### 3.1.2 Regenerát bez nalakování

Tento typ regenerátu byl zhotoven z nenalakovaných nárazníků, které byly rozebrány na drť (viz obr. 3.2), která však obsahovala značné množství

prachových částic i drť různé velikosti. Z tohoto důvodu bylo nutné regenerát přesít přes síta tak, aby došlo k odstranění prachových částic a pro následný vstřikovací proces byl použit regenerát shodné velikosti s granulátem panenského materiálu.



*Obr. 3.2 Drť regenerátu bez odstranění laku*

### **3.1.3 Regenerát s chemicky odstraněným lakem [15]**

U tohoto typu regenerátu byl nejprve z nárazníků chemicky odstraněn lak, které bylo provedeno ve spolupráci s firmou ABL Technic Bohemia, s.r.o. Odlakované nárazníky byly opět rozemlety na drť (viz obr. 3.3) a přes síta odstraněny prachové části včetně drtě o velikosti lišící se výraznou měrou od velikosti granulátu panenského materiálu.



*Obr. 3.3 Drť regenerátu s chemicky odstraněným lakem*

Odlakování nárazníků bylo provedeno v automatizované lince pomocí  $H_2SO_4$  (odlakovacího média) v 98% koncentraci při teplotě média 85°C. Při odlakování nárazníku byly jednotlivé jeho části ponořeny do odlakovacího media po dobu ca 15minut, poté následoval postupně odkap, vířivý vodní oplach (PH 3), oplach v mírně alkalické vodě (PH 9) a nakonec ve vodě (PH 7). Po vyjmutí dílů z linky byly tyto následně ostříkány tlakovou vodou, popřípadě domyty houbou. Konečné PH odlakovaných nárazníků, v okamžiku zpětného uložení do klecí zákazníka, je v rozmezí PH 6 až 7. Klece s odlakovanými nárazníky byly uskladněny volně venku a po ca 24 hodinách transportovány k zákazníkovi.

### 3.1.4 Regenerát s lakem

U tohoto typu regenerátu (viz obr. 3.4) byl lak na náraznících ponechán a způsob přípravy odpovídá shodně přípravě předcházejících typů regenerátu. Regenerát dodaný firmou Cadance Innovation byl zhotoven z nárazníků lakovaných v různých barevných odstínech a z materiálu (viz kap. 3.1.1) obsahující i neobsahující UV stabilizátor. Vzhledem k chemické povaze UV stabilizátorů a jejich množství bylo možné předpokládat, že jejich přítomnost v regenerátu nebude ovlivňovat experimentální měření.



*Obr. 3.4 Drť regenerátu bez odstranění laku*

### 3.2 Příprava materiálu

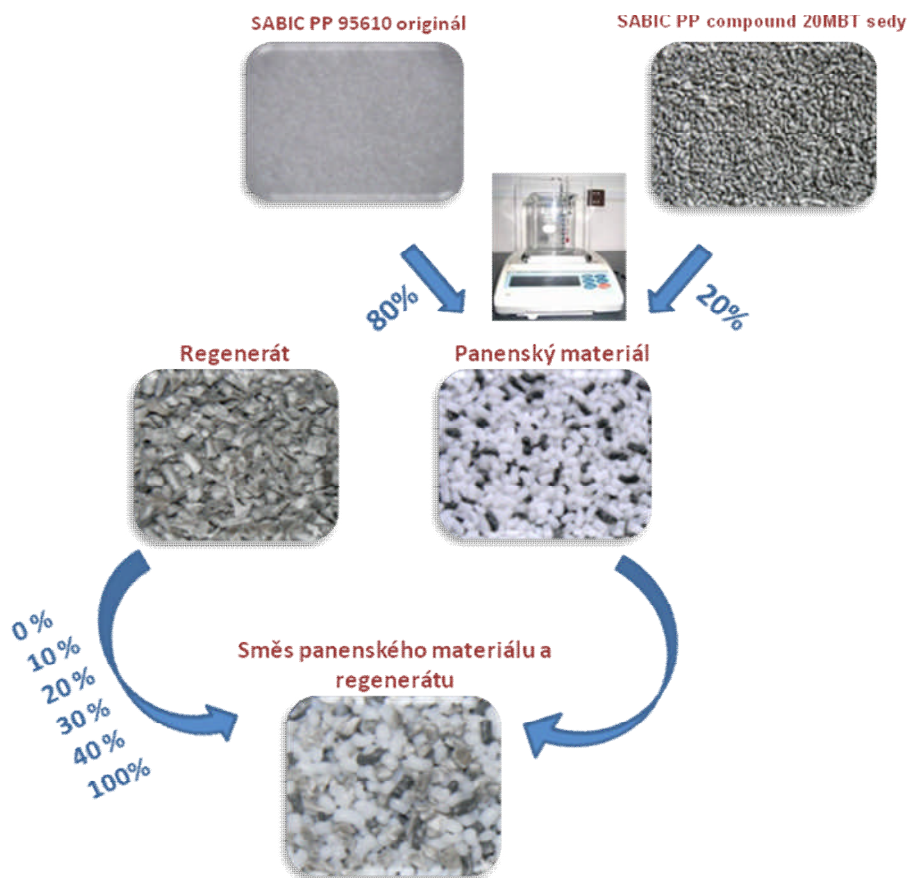
Před vlastním experimentálním měřením bylo nutné provést přípravu



Obr. 3.5 Digitální váhy

vzorků, spočívající ve smíchání materiálu SABIC PP95610 s masterbatchem SABIC PP compound 20MBT, jež jsou dodávány odděleně, v poměru 80:20 tak, aby bylo ve výsledném panenském materiálu docíleno 10% talku. Takto vytvořený panenský materiál je používán k výrobě reálných výstřiků (nárazníků). Smíchání složek bylo provedeno ručně pomocí digitálních vah (viz obr. 3.5) stejně tak, jako následné smíchání takto

vytvořeného panenského materiálu s regenerátem (pro všechny tři typy) ve stanoveném množství odpovídající zastoupení regenerátu v panenském materiálu 10%, 20%, 30% a 40% (viz obr. 3.6).



Obr. 3.6 Schéma postupu přípravy materiálu



### 3.3 Výroba zkušebních vzorků

Všechny vzorky vyrobené pro potřeby experimentálního měření v souladu s příslušnými mezinárodními standardy byly zhotoveny na vstřikovacím hydraulickém lisu ENGEL ES 25/50 (viz obr. 3.7) a v univerzálním dvoudeskovém nástroji s jednou dělicí rovinou, kuželovým vtokem a temperačním systémem s cirkulujícím teplotonosným médiem (vodou) v temperačních kanálech formy, umožňující výměnu kotevní desky tvárnice s tvarovými dutinami, jež odpovídají výše uvedeným standardům pro hodnocení smrštění výstřiků, tahových, rázových a ohybových vlastností výstřiku a v neposlední řadě pro hodnocení tekutosti taveniny plastu spirálovou zkouškou zabíhavosti. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.2 a technologické podmínky vstřikování pro výrobu jednotlivých zkušebních těles v tab. 3.3 až tab. 3.6.

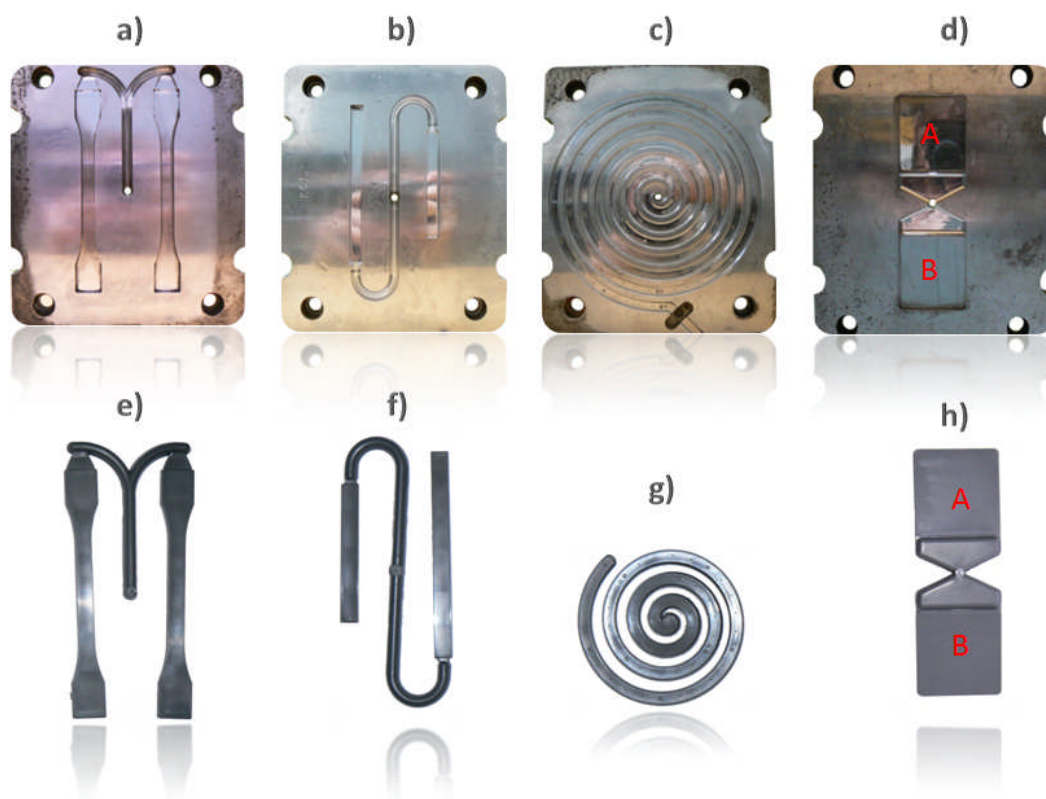


Obr. 3.7 Vstřikovací lis ENGEL ES 25/50

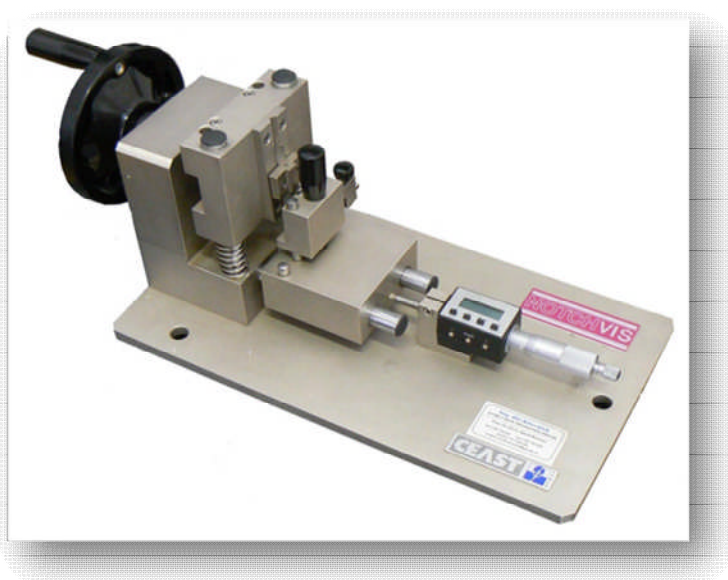
Tab. 3.2 Technické parametry vstřikovacího lisu ENGEL ES 25/50

Parametry stroje		
Průměr šneku	25	[mm]
Zdvih šneku	85	[mm]
Otáčky šneku (normální)	50 - 130	[min <sup>-1</sup> ]
Otáčky šneku (zrychlené)	50 - 260	[min <sup>-1</sup> ]
Plastikační kapacita	14	[kg.hod <sup>-1</sup> ]
Vstřikovací kapacita	35	[cm <sup>3</sup> ]
Max. vstřik. tlak	140	[MPa]
Uzavírací síla	300	[kN]
Průměr šneku	25	[mm]
Maximální výška formy	242	[mm]
Minimální výška formy	152	[mm]

Při výrobě zkušebních vzorků pro zkoušku tahem (viz obr. 3.8e) byla použita kotevní deska s dvounásobnou dutinou formy (viz obr. 3.8a), kuželovým vtokem a štěrbinovým ústím vtoku. Při výrobě těles na ohybovou a rázovou zkoušku (viz obr. 3.8f) byla použita rovněž dvounásobná kotevní deska formy (viz obr. 3.8b) s kuželovým vtokem, štěrbinovým ústím vtoku, ovšem s jednou tvarovou dutinou pro zkušební těleso pro ohybovou zkoušku a druhou tvarovou dutinou pro zkušební těleso na rázovou zkoušku. Na tělese zkušebního vzorku pro rázovou zkoušku byl vzhledem k povaze materiálu (po jeho kondicionaci) vyroben normalizovaný tvar vrubu typu A dle ČSN EN ISO 179 pomocí vrubovačky CEAST s digitálním mikrometrem (viz obr. 3.9). Kotevní deska formy pro stanovení spirálové zkoušky zabíhavosti je tvořena jednou tvarovou dutinou ve tvaru ploché Archimedovy spirály (viz obr. 3.8g) s kuželovým vtokem (viz obr. 3.8c). Vzorky ve tvaru desky (viz obr. 3.8h), pro zjištění smrštění, byly vyrobeny ve formě s kotevní deskou a dvěma tvarovými dutinami, označenými písmeny A a B (viz obr. 3.8d) s filmovým ústím vtoku.



Obr. 3.8 Formy na výrobu zkušebních vzorků + vzorky



Obr. 3.9 Vrubovačka CEAST

Všechna zkušební tělesa v závislosti na typu regenerátu byla vstřikována v šesti různých šaržích, tedy v šesti různých procentuelních zastoupení regenerátu v základním materiálu: 0%, 10%, 20%, 30%, 40% a 100%, při konstantních technologických parametrech mezi šaržemi, tj. teplotě taveniny, velikosti a době vstřikovacího tlaku, velikosti i době dotlaku, teplotě temperace formy, době chlazení i celkové době vstřikovacího cyklu. Aby byla zajištěna konstantní doba cyklu, bylo nutné upravovat dobu manipulace, jelikož různé procentuelní zastoupení regenerátu mělo za následek měnící se dobu plastikace, resp. dávkování nového materiálu. Teplota vstřikovací formy (viz tab. 3.3 až tab. 3.6) byla řízena prostřednictvím teploty teplotnosného média cirkulujícího v temperačních kanálech tvárníku a tvárnice pomocí temperačního agregátu TA3.

Tab. 3.3 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro zkoušku tahem

Množství regenerátu		šarže					
		0%	10%	20%	30%	40%	100%
<b>T [ °C ]</b>		150/130/110					
<b>t<sub>v</sub> + t<sub>D</sub> [ s ]</b>		20					
<b>t<sub>chlaz</sub> (po plastikaci) [ s ]</b>		15					
<b>t<sub>M</sub> [ s ]</b>	Chem. Odlakování	8	6	4	4	3,5	3,5
	Bez odlakování		6	5	5	5	4
	Bez nalakování		7	6	6	6	5
<b>t<sub>PL</sub> [ s ]</b>	Chem. Odlakování	14	16	18	18	18,5	18,5
	Bez odlakování		16	17	17	17	18
	Bez nalakování		15	16	16	16	16
<b>Σt<sub>C</sub> [ s ]</b>		60					
<b>t<sub>s</sub> [ s ]</b>		3					
<b>T<sub>Tryska</sub> [ A ]</b>		0,5					
<b>T<sub>Formy</sub> [ °C ]</b>		60					
<b>p<sub>Hydraul</sub> [ MPa ]</b>		3					



Tab. 3.4 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro rázovou a ohybovou zkoušku

		šarže					
Množství regenerátu		0%	10%	20%	30%	40%	100%
T [ °C ]		160/140/120					
t <sub>v</sub> + t <sub>D</sub> [ s ]		20					
t <sub>chlaz</sub> (po plastikaci) [ s ]		15					
t <sub>M</sub> [ s ]	Chem. Odlakování	11	11	11	10	9	6
	Bez odlakování		11	11	9	8	8
	Bez nalakování		13	12	10	9	8
t <sub>PL</sub> [ s ]	Chem. Odlakování	11	11	11	12	13	16
	Bez odlakování		11	11	13	14	14
	Bez nalakování		9	10	12	13	14
Σt <sub>c</sub> [ s ]		60					
t <sub>s</sub> [ s ]		3					
T <sub>Tryska</sub> [ A ]		0,5					
T <sub>Formy</sub> [ °C ]		60					
p <sub>Hydraul</sub> [ MPa ]		3					

Tab. 3.5 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro spirálovou zkoušku zabíhavosti

		šarže					
Množství regenerátu		0%	10%	20%	30%	40%	100%
T [ °C ]		150/130/110					
t <sub>v</sub> + t <sub>D</sub> [ s ]		10					
t <sub>chlaz</sub> (po plastikaci) [ s ]		15					
t <sub>M</sub> [ s ]	Chem. Odlakování	9	9	8,5	7	7	4
	Bez odlakování		13	12	13	13	10
	Bez nalakování		13	13	12	12	11
t <sub>PL</sub> [ s ]	Chem. Odlakování	8	8	8,5	10	10	13
	Bez odlakování		5	6	5	5	8
	Bez nalakování		5	5	5	6	7
Σt <sub>c</sub> [ s ]		45					
t <sub>s</sub> [ s ]		3					
T <sub>Tryska</sub> [ A ]		0,5					
T <sub>Formy</sub> [ °C ]		60					
p <sub>Hydraul</sub> [ MPa ]		5					

Tab. 3.6 Technologické podmínky pro vstřikování vzorků pro zjišťování smrštění 2mm destičky

		šarže					
Množství regenerátu		0%	10%	20%	30%	40%	100%
T [ °C ]		140/130/110					
t <sub>v</sub> + t <sub>d</sub> [ s ]		25					
t <sub>chlaz</sub> (po plastikaci) [ s ]		10					
t <sub>M</sub> [ s ]	Chem. Odlakování	10	10	9	8	6	4
	Bez odlakování		11	10	10	8	5
	Bez nalakování		11	10	10	7	6
t <sub>PL</sub> [ s ]	Chem. Odlakování	12	12	13	14	16	18
	Bez odlakování		11	12	12	14	17
	Bez nalakování		11	12	12	15	16
Σt <sub>c</sub> [ s ]		60					
t <sub>s</sub> [ s ]		3					
T <sub>Tryska</sub> [ A ]		0,5					
T <sub>Formy</sub> [ °C ]		60					
p <sub>Hydraul</sub> [ MPa ]		2					

### 3.4 Hodnocení mechanických vlastností materiálu [17]

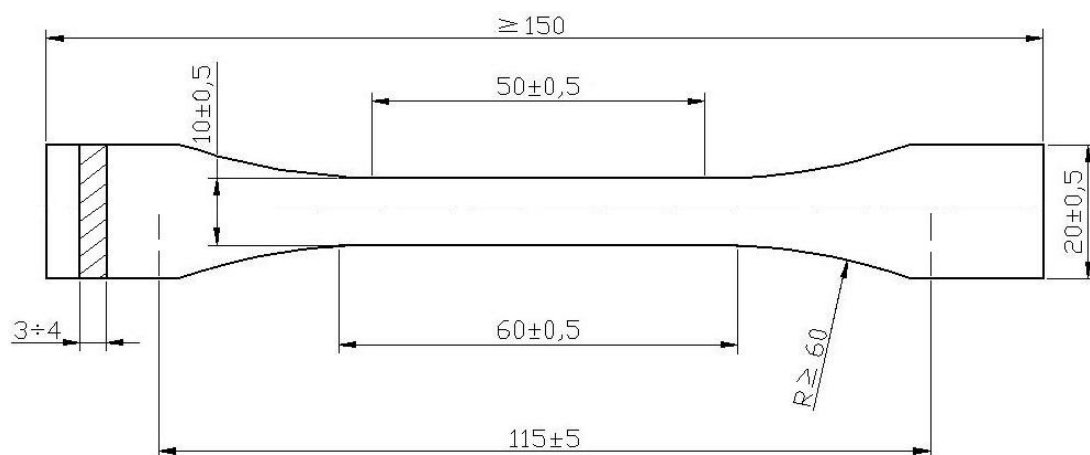
Procentuální zastoupení regenerátu v základním materiálu, ovlivňuje více či méně užité vlastnosti a kvalitu výstřiku. Z důvodu bezpečnosti a požadavků výrobce musí výstřiky vždy splňovat požadované fyzikálně - mechanické vlastnosti.

Hodnocení fyzikálně-mechanických vlastností výstřiků v závislosti na druhu regenerátu (s lakem, bez laku a s chemicky odstraněným lakem) a jeho zastoupení ve výrobní směsi, bylo provedeno hodnocením tahových vlastností dle ČSN EN ISO 527, ohybových vlastností dle ČSN EN ISO 178, rázových vlastností metodou Charpy dle ČSN EN ISO 179. Shodným způsobem byly hodnoceny reologické (tokové) vlastnosti taveniny pomocí spirálové zkoušky zabíhavosti a smrštění dle ČSN EN ISO 294-4. Zkušební tělesa (viz kap. 3.4) byla kondicionována dle ČSN ISO 291, tj. při standardních teplotě 23°C a prostředí 23/50, které odpovídá relativní vlhkosti 50%.

### 3.4.1 Hodnocení tahových vlastností [18]

Tahovou zkouškou se zjišťují nejdůležitější mechanické vlastnosti plastů při jednoosém tahovém zatěžování. Zkouška se provádí na tělesech definovaných normou, při stanovených podmínkách předběžné úpravy, zkoušení a konstantní rychlosti. Výsledky zkoušky závisí na podmínkách výroby zkušebních těles, materiálu a na podmínkách v průběhu samotné zkoušky. V průběhu zkoušky se zaznamenává síla a jí odpovídající hodnoty zvětšení počáteční měřené délky ( $L_0=50\text{mm}$ ), resp. je získávána závislost napětí na poměrném prodloužení, z níž jsou odečteny všechny potřebné hodnoty napětí a prodloužení definované v ČSN EN ISO 527-1.

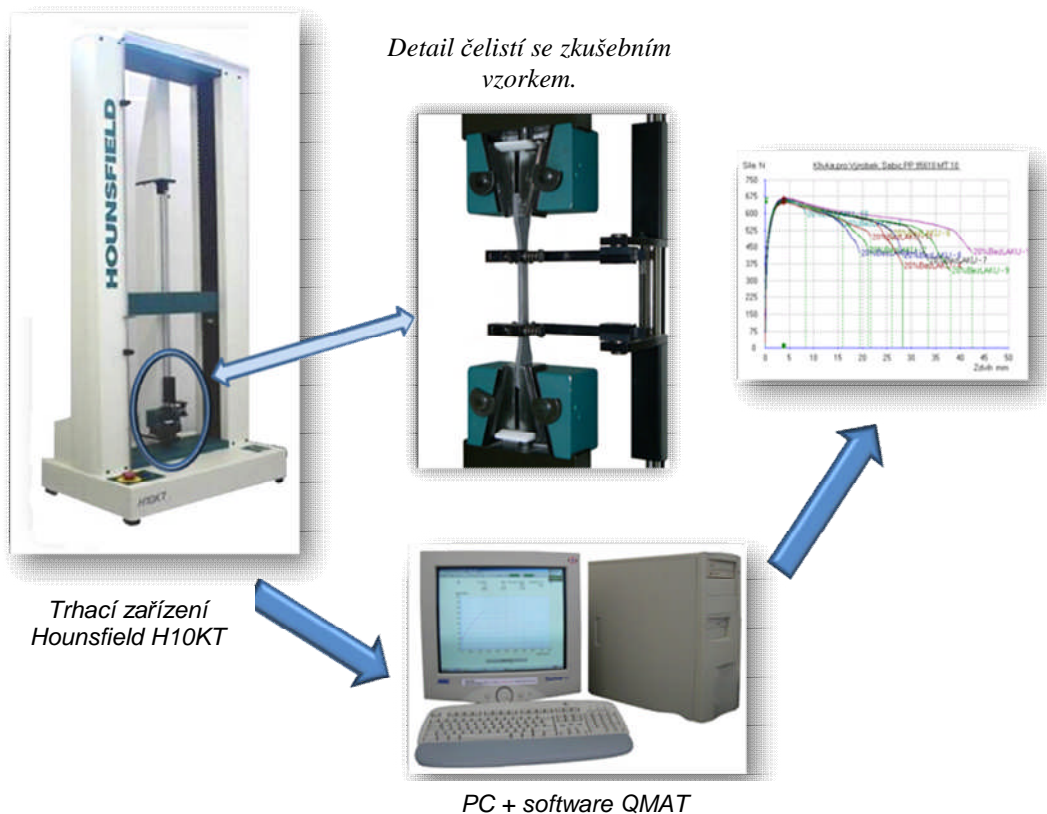
Rozměry a tvar zkušebních těles pro hodnocení tahových vlastností výstřiků v závislosti na druhu regenerátu a jeho procentuálním zastoupení v panenském materiálu odpovídající obr. 3.10



Obr. 3.10 Tvar a rozměry zkušebního tělesa pro zkoušku tahem [mm]

Podmínky zkoušení byly shodné s podmínkami kondicionace zkušebních těles a rychlost zkoušení byla 50 mm/min. Pro každou šarži danou materiálem, bylo zkoušeno na trhacím zařízení Hounsfield H10KT s měřicí hlavou do 10kN, průtahoměrem 100RC a programovým vybavením QMAT (viz obr. 3.11), vždy 10 zkušebních těles, z nichž byly použity pouze ty hodnoty, kde došlo k lomu zkušebních těles v měřené části. Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže, včetně statistického vyhodnocení

jsou pro všechny šarže zaznamenány v tab. 3.7 až tab. 3.9, dílčí výsledky jsou uvedeny v příloze 1 (viz tab. P1 až tab. P3).



Obr. 3.11 Schéma měřící sestavy

Podmínky zkoušení byly shodné s podmínkami kondicionace zkušebních těles a rychlost zkoušení byla 50 mm/min. Pro každou šarži danou materiálem, bylo zkoušeno na trhacím zařízení Hounsfield H10KT s měřící hlavou do 10 kN, průtahoměrem 100RC a programovým vybavením QMAT (viz obr. 3.11), vždy 10 zkušebních těles, z nichž byly použity pouze ty hodnoty, kde došlo k lomu zkušebních těles v měřené části. Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže včetně statistického vyhodnocení jsou pro všechny šarže zaznamenány v tab. 3.7 až tab. 3.9.

Tab. 3.7 Tahové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu bez nalakování

Bez nalakování		
šarže	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]
0%	17,08 ± 0,37	6,33 ± 0,53
10%	16,15 ± 0,22	6,67 ± 0,27
20%	16,39 ± 0,35	7,53 ± 0,28
30%	16,35 ± 0,27	7,34 ± 0,45
40%	16,07 ± 0,41	6,81 ± 0,31
100%	16,12 ± 0,08	6,06 ± 0,30

Tab. 3.8 Tahové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu s chemicky odstraněným lakem

Chemické odlakování		
šarže	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]
0%	17,08 ± 0,37	6,33 ± 0,53
10%	16,91 ± 0,27	5,85 ± 0,43
20%	16,81 ± 0,39	5,64 ± 0,40
30%	16,79 ± 0,21	6,07 ± 0,47
40%	17,00 ± 0,23	5,90 ± 0,41
100%	16,00 ± 0,13	4,62 ± 0,30

Tab. 3.9 Tahové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu s lakem

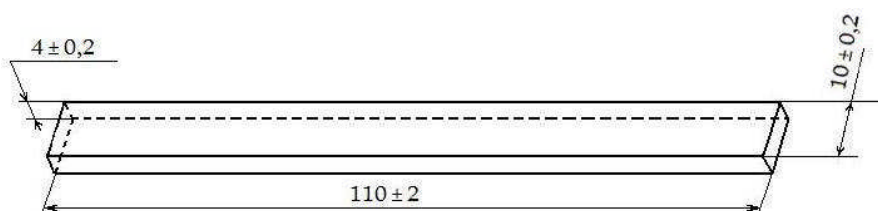
S lakem		
šarže	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]
0%	17,08 ± 0,37	6,33 ± 0,53
10%	16,67 ± 0,14	5,92 ± 0,28
20%	16,67 ± 0,15	5,90 ± 0,24
30%	16,86 ± 0,16	5,98 ± 0,16
40%	16,68 ± 0,21	5,87 ± 0,34
100%	15,92 ± 0,32	5,11 ± 0,50

### 3.4.2 Hodnocení ohybových vlastností [19]

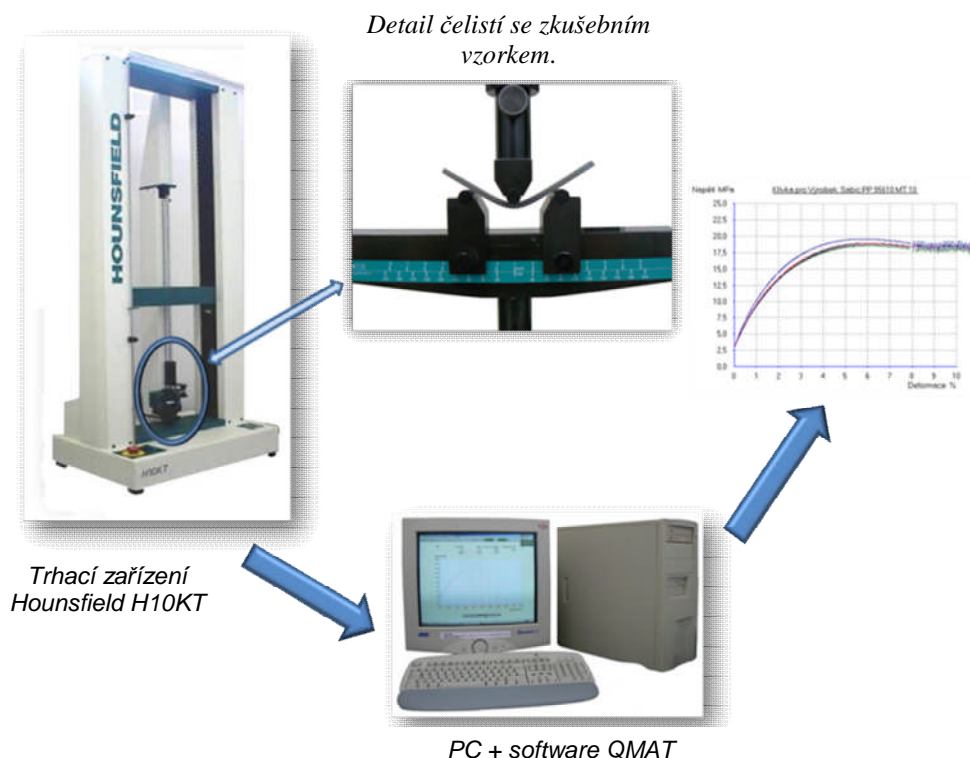
Ohybová zkouška dle ČSN EN ISO 178 se používá k hodnocení chování zkušebního tělesa při namáhání tříbodovým ohybem. S její pomocí lze určit pevnost v ohybu i další závislosti mezi napětím a deformací při stanovených podmínkách.

Zkušební těleso s definovanými rozměry (viz obr. 3.12) bylo volně položeno na dvě podpory a zatěžováno přitlačným trhem, jenž působí na těleso uprostřed rozpětí podpor rychlostí 2 mm/min. Trn působil na těleso až do doby, než se dosáhlo předem stanovené hodnoty deformace (14 mm) za mezí pevnosti v ohybu, neboť vzhledem k povaze materiálu a konstrukci přípravku použitého při měření není dosahováno okamžiku, kdy dojde k lomu.

Ohybová zkouška byla prováděna na zkušebním stroji Hounsfield H 10 KT (viz obr. 3.13) se softwarem QMAT, počet zkušebních těles pro každou šarži byl roven 10. Naměřené průměrné hodnoty pro jednotlivé šarže, včetně statistického vyhodnocení jsou pro všechny šarže zaznamenány v tab. 3.10 až tab. 3.12 a dílčí hodnoty jsou opět uvedeny v příloze 2 (viz tab. P4 až tab. P6).



Obr. 3.12 Tvar a rozměry zkušebního tělesa pro ohybovou zkoušku [mm]



Obr. 3.13 Schéma měřící sestavy

Pro každý vzorek ze všech materiálových šarží byly během průběhu ohybové zkoušky odečítány hodnoty napětí v ohybu při hodnotách deformace  $\varepsilon_{f1} = 0,05\%$  a  $\varepsilon_{f2} = 0,25\%$  a z nich pro každý vzorek vypočítán modul pružnosti v ohybu dle rovnice (3.1):

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (3.1)$$

kde  $E_f$  ... modul pružnosti v ohybu [MPa]  
 $\sigma_{f1}$  ... napětí v ohybu při deformaci  $\varepsilon_{f1}$  [MPa]  
 $\sigma_{f2}$  ... napětí v ohybu při deformaci  $\varepsilon_{f2}$  [MPa]  
 $\varepsilon_{f1}$  ... deformace ohybem 0,05 [%]  
 $\varepsilon_{f2}$  ... deformace ohybem 0,25 [%]

Tab. 3.10 Ohybové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu bez nalakování

Bez nalakování		
šarže	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	21,01 ± 0,25	970,16 ± 3,74
10%	18,95 ± 0,39	774,59 ± 64,59
20%	19,10 ± 0,81	788,07 ± 35,48
30%	19,85 ± 0,90	831,57 ± 27,54
40%	19,05 ± 0,39	810,20 ± 44,54
100%	18,90 ± 0,13	791,92 ± 30,27

Tab. 3.11 Tahové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu s chemicky odstraněným lakem

Chemické odlakování		
šarže	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	21,01 ± 0,25	970,16 ± 3,74
10%	20,60 ± 0,26	883,54 ± 38,74
20%	20,20 ± 0,21	900,87 ± 47,44
30%	20,21 ± 0,15	900,87 ± 47,44
40%	21,84 ± 0,18	1039,46 ± 49,27
100%	21,16 ± 0,39	892,32 ± 39,50

Tab. 3.12 Tahové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu s lakem

šarže	S lakem	
	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%	21,01 ± 0,25	970,16 ± 3,74
10%	21,28 ± 0,13	906,64 ± 56,29
20%	20,88 ± 0,22	776,71 ± 83,19
30%	20,93 ± 0,16	923,97 ± 54,02
40%	20,66 ± 0,19	883,54 ± 38,74
100%	19,61 ± 0,39	779,59 ± 86,62

### 3.4.3 Hodnocení vrubové houževnatosti [20]

Velice častým hodnocením materiálu je rázová houževnatost ( $a_{cu}$ ). Rázová houževnatost se stanovuje pro materiály, jenž se zlomí nárazem na zkušební těleso, pokud ovšem ke zlomení nedojde, je možné zeslabit zkušební těleso vrubem a v tomto případě zjišťujeme vrubovou, nikoliv rázovou houževnatost ( $a_{cN}$ , kde  $N = A, B, C$  dle typu vrubu). Stanovení rázové, resp. Vrubové houževnatosti je provedeno metodou Charpy. Stejně jako u předchozích zkoušek probíhá rázová (vrubová) zkouška ve stejném prostředí, v němž byla zkušební tělesa kondicionována. Pro námi zvolený materiál, jenž je používán pro výrobu exteriérových automobilových dílů, které jsou během svého funkčního života vystavovány různým podnebním podmínkám byla zkouška provedena pro 23°C, tak pro -15°C.

Před zahájením samotné zkoušky bylo zapotřebí vyvážit a zadat vstupní parametry přístroje Ceast Resil 5.5 (viz obr. 3.14), nutná byla kalibrace kladiva, a zajištění korekce v důsledku tření a odporu vzduchu při volném pádu kladiva (tzv. ráz na slepo bez zkušební tělesa). K hodnocení vrubové houževnatosti bylo vybráno takové kladivo, aby hodnota energie spotřebovaná k přeražení zkušební tělesa ležela vždy v rozmezí 10% až 80% potenciální energie kladiva. K hodnocení rázových vlastností bylo použito rázové kladivo Resil 5.5 firmy CEAST S.p.A.

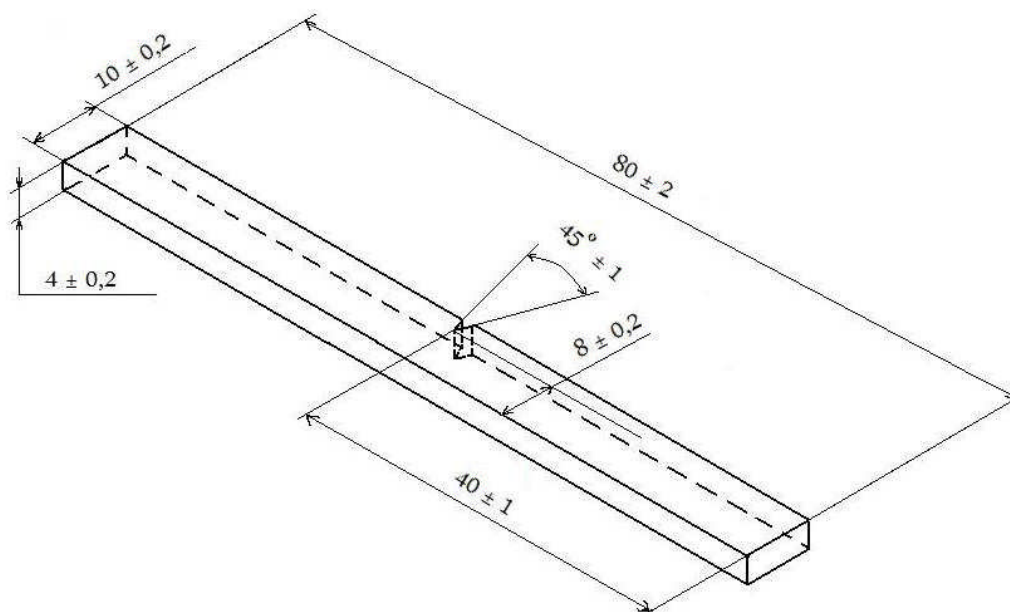
Rázová houževnatost byla stanovena na zkušebním tělese předepsaných rozměrů s vrubem normalizovaného rozměru typu A o poloměru zaoblení 0,25 mm (viz obr. 3.15) za podmínek dle ČSN EN ISO 179.



Před započítím zkoušky byl vždy zkušební vzorek umístěn vodorovně na podpory tak, aby vrub ležel v dráze kladiva a ráz působil proti vrubu. Poté bylo kladivo za aretováno ve výchozí pozici. Po uvolnění kladiva bylo zkušební těleso přeraženo na užší straně rychlostí  $2,9 \text{ m/s} \pm 10\%$ . Všechna zkušební tělesa byla přeražena typem přeražení P (částečné přeražení).



*Obr. 3.14 Schéma měřící sestavy*



Obr. 3.15 Tvar a rozměry zkušebního tělesa pro ohybovou zkoušku [mm]

Pro každý vzorek se ze spotřebované energie k jeho přeražení vypočítala vrubová houževnatost dle vztahu (3.2):

$$a_{cA} = \frac{W}{h \cdot b_N} \quad (3.2)$$

kde	$a_{cA}$	... vrubová houževnatost Charpy, typ vrubu A	[kJ/m <sup>2</sup> ]
	$W$	... energie potřebná pro přeražení tělesa	[J]
	$h$	... tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
	$b_N$	... šířka zkušebního tělesa pod vrubem	[mm]

Naměřené průměrné hodnoty spotřebovaná energie, rázová houževnatost a rychlost při přeražení pro jednotlivé šarže, včetně statistického vyhodnocení jsou pro všechny šarže zaznamenány v tab. 3.13 až tab. 3.14 a dílčí hodnoty jsou opět uvedeny v příloze 3 (viz tab. P7 až tab. P12).

Tab. 3.13 Rázové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu a jeho druhu pro 23°C

		šarže		
Množství regenerátu		0%	10%	20%
<b>w [ J ]</b>	Bez nalakování	2,242 ± 0,06	2,104 ± 0,06	2,121 ± 0,10
	Chem. Odlakování		2,24 ± 0,04	2,17 ± 0,04
	S lakem		2,12 ± 0,08	2,03 ± 0,12
<b>a<sub>CA</sub> [ kJ/m<sup>2</sup> ]</b>	Bez nalakování	70,07 ± 2,00	65,76 ± 1,73	66,29 ± 3,04
	Chem. Odlakování		69,97 ± 1,28	67,91 ± 1,21
	S lakem		66,37 ± 2,39	63,49 ± 3,68
<b>v [m/s]</b>		2,9 ± 10%		
<b>E<sub>n</sub> [ J ]</b>		5		
Množství regenerátu		30%	40%	100%
<b>w [ J ]</b>	Bez nalakování	2,213 ± 0,03	2,19 ± 0,03	2,05 ± 0,05
	Chem. Odlakování	2,24 ± 0,05	2,16 ± 0,06	2,17 ± 0,06
	S lakem	1,91 ± 0,13	1,79 ± 0,16	1,53 ± 0,09
<b>a<sub>CA</sub> [ kJ/m<sup>2</sup> ]</b>	Bez nalakování	69,16 ± 0,92	68,40 ± 0,99	64,13 ± 1,59
	Chem. Odlakování	70,00 ± 1,45	67,48 ± 1,73	67,76 ± 1,81
	S lakem	59,63 ± 3,94	56,13 ± 4,93	47,95 ± 2,83
<b>v [m/s]</b>		2,9 ± 10%		
<b>E<sub>n</sub> [ J ]</b>		5		

Tab. 3.14 Rázové vlastnosti vzorků v závislosti na množství regenerátu a jeho druhu pro -15°C

		šarže		
Množství regenerátu		0%	10%	20%
<b>w [ J ]</b>	Bez nalakování	1,59 ± 0,006	1,69 ± 0,01	1,73 ± 0,01
	Chem. Odlakování		1,77 ± 0,05	1,86 ± 0,04
	S lakem		1,36 ± 0,10	1,53 ± 0,05
<b>a<sub>CA</sub> [ kJ/m<sup>2</sup> ]</b>	Bez nalakování	49,92 ± 2,46	52,80 ± 1,53	53,99 ± 1,76
	Chem. Odlakování		55,44 ± 1,66	58,14 ± 1,22
	S lakem		42,45 ± 3,04	47,66 ± 1,66
<b>v [m/s]</b>		2,9 ± 10%		
<b>E<sub>n</sub> [ J ]</b>		5		
Množství regenerátu		30%	40%	100%
<b>w [ J ]</b>	Bez nalakování	1,90 ± 0,01	1,91 ± 0,01	1,81 ± 0,01
	Chem. Odlakování	1,91 ± 0,07	1,91 ± 0,04	1,97 ± 0,07
	S lakem	1,41 ± 0,15	1,43 ± 0,10	1,15 ± 0,08
<b>a<sub>CA</sub> [ kJ/m<sup>2</sup> ]</b>	Bez nalakování	59,38 ± 1,20	59,68 ± 1,66	56,60 ± 1,86
	Chem. Odlakování	59,69 ± 2,05	59,72 ± 1,34	61,40 ± 2,15
	S lakem	44,16 ± 4,52	44,58 ± 2,99	35,82 ± 2,40
<b>v [m/s]</b>		2,9 ± 10%		
<b>E<sub>n</sub> [ J ]</b>		5		

### 3.5 Stanovení výrobního smrštění [21]

Při vstřikování termoplastů kolísá rozdíl mezi rozměry tvarové dutiny formy a rozměry hotových výstřiků v závislosti na konstrukci formy a na podmínkách vstřikování. Tyto rozdíly mohou záviset na kapacitě vstřikovacího stroje, na tvaru a rozměrech výstřiku, na stupni a směru toku nebo pohybu materiálu ve formě, na velikosti průřezu vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a vtokového ústí, dále na cyklu stroje, na teplotě taveniny a teplotě formy a velikosti a délce trvání dotlaku. Výrobní a dodatečné smrštění jsou způsobeny krystalizací, objemovou relaxací, relaxací orientace makromolekul a rovněž tepelnou kontrakcí jak termoplastu, tak formy.

Výrobní smrštění ( $S_M$ ) je rozdíl mezi rozměry suchého zkušební tělesa a rozměry tvarové dutiny formy, v níž bylo zkušební těleso vstřikováno. Rozměry formy i zkušební tělesa se měří ve standardním prostředí.

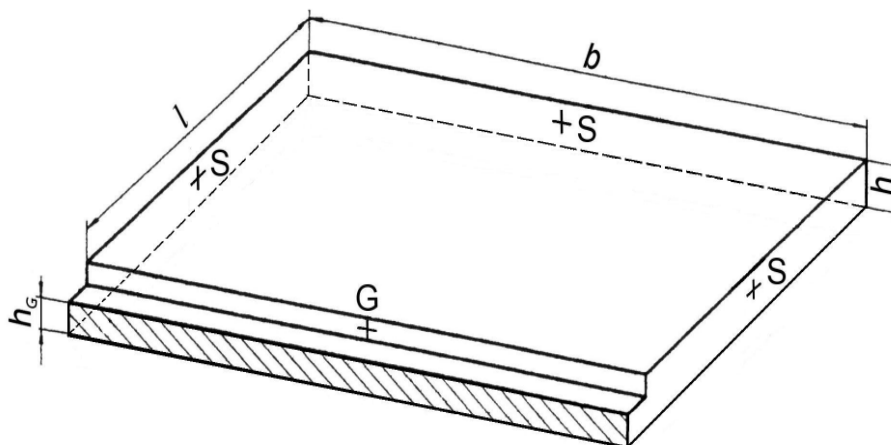
Výrobní smrštění se stanovuje v podélném směru ( $S_{Mp}$ ) a v příčném směru ( $S_{Mn}$ ) vůči směru toku taveniny. Měření rozměrů zkušebních těles probíhalo po uplynutí 24 hodin od výroby, kdy se předpokládá, že všechny měřené rozměry jsou již ustáleny. Zkušební tělesa (viz obr. 3.16) byla kondicionována dle ČSN ISO 291.

$S_{Mp}$  se stanovuje ve středu šířky zkušební tělesa a  $S_{Mn}$  ve středu délky zkušební tělesa. Na obr. 3.16 je vyznačeno umístění referenčních bodů (S, G), ve kterých jsou měřeny rozměry zkušební tělesa. Vyšrafovaná plocha označuje zbytek ústí vtoku o tloušťce  $h_G$ . Výrobní smrštění se vyjadřuje v procentech daného rozměru tvarové dutiny formy dle vztahu (3.3) a (3.4).

$$S_{Mp} = \frac{(l_c - l_1)}{l_c} \cdot 100 \quad (3.3)$$

$$S_{Mn} = \frac{(b_c - b_1)}{b_c} \cdot 100 \quad (3.4)$$

kde  $l_c$  a  $b_c$  jsou délka a šířka ve středu tvarové dutiny [mm],  
 $l_1$  a  $b_1$  odpovídající délka a šířka zkušební tělesa [mm].



Obr. 3.16 Vstřikované zkušební těleso tvaru desky s referenčními body



Obr. 3.17 Úchylkoměr Mitutoyo ID-F150  
se speciálním přípravkem

Délkové rozměry vzorků byly měřeny digitálním úchylkoměrem Mitutoyo ID-F150 s dosažitelnou přesností měření 0,001 mm umístěném ve speciálně zhotoveném měřicím přípravku (viz obr. 3.17).

Měření bylo prováděno na destičce o tloušťce 2 mm a jednotlivé dutiny formy měly následující rozměry:

Dutina A: podélný směr = 50,03 mm  
příčný směr = 50,00 mm

Dutina B: podélný směr = 49,96 mm  
příčný směr = 50,03 mm

Celkový počet zkušebních těles pro každou šarži byl 12 kusů. Vypočítána byla střední hodnota a dva vzorky s největší odchylkou byly vyřazeny.

Protože byla použita dvounásobná vstřikovací forma (viz kapitola 3.4), jsou vzorky označeny písmeny A a B, z důvodů rozdílných rozměrů dutin formy.

Naměřené průměrné hodnoty délek a šířek pro jednotlivé šarže, včetně statistického vyhodnocení jsou pro všechny šarže zaznamenány v tab. 3.15 a dílčí hodnoty jsou opět uvedeny v příloze 4 (viz tab. P13 až tab. P15).

Tab. 3.15 Velikosti smršťení v příčném a podélném směru v závislosti na množství regenerátu a jeho druhu

		Množství regenerátu	0%	10%	20%
A	Bez nalakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.36 ± 0.08	1.36 ± 0.07	1.26 ± 0.02
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.46 ± 0.08	1.34 ± 0.06	1.26 ± 0.04
	Chem. Odlakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.36 ± 0.08	1.26 ± 0.02	1.22 ± 0.03
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.46 ± 0.08	1.26 ± 0.05	1.20 ± 0.04
	S lakem	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.36 ± 0.08	1.19 ± 0.04	1.14 ± 0.05
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.46 ± 0.08	1.39 ± 0.07	1.17 ± 0.02
B	Bez nalakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.21 ± 0.06	1.20 ± 0.02	1.01 ± 0.03
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.59 ± 0.07	1.12 ± 0.03	1.18 ± 0.07
	Chem. Odlakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.21 ± 0.06	1.05 ± 0.02	0.98 ± 0.01
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.49 ± 0.07	1.51 ± 0.03	1.15 ± 0.02
	S lakem	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.21 ± 0.06	1.01 ± 0.02	0.91 ± 0.06
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.49 ± 0.07	1.38 ± 0.04	1.19 ± 0.01
		Množství regenerátu	30%	40%	100%
A	Bez nalakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.27 ± 0.03	1.28 ± 0.05	1.33 ± 0.05
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.22 ± 0.04	1.18 ± 0.04	1.32 ± 0.03
	Chem. Odlakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.22 ± 0.03	1.26 ± 0.05	1.26 ± 0.04
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.16 ± 0.06	1.20 ± 0.03	1.38 ± 0.05
	S lakem	S <sub>Mn</sub> [ % ]	1.18 ± 0.04	1.19 ± 0.07	0.89 ± 0.01
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.17 ± 0.07	1.14 ± 0.07	1.13 ± 0.03
B	Bez nalakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	0.91 ± 0.02	1.07 ± 0.05	1.13 ± 0.04
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.19 ± 0.03	1.24 ± 0.07	1.42 ± 0.05
	Chem. Odlakování	S <sub>Mn</sub> [ % ]	0.94 ± 0.02	1.02 ± 0.02	1.07 ± 0.02
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.14 ± 0.03	1.16 ± 0.03	1.39 ± 0.06
	S lakem	S <sub>Mn</sub> [ % ]	0.89 ± 0.02	0.96 ± 0.03	0.94 ± 0.03
		S <sub>Mp</sub> [ % ]	1.22 ± 0.04	1.21 ± 0.08	1.09 ± 0.06

### 3.6 Hodnocení reologických (tokových) vlastností materiálu

Znalost tokových vlastností a reologického chování taveniny polymeru je velmi důležité jak pro výrobce surovin, tak pro jejich zpracovatele, výrobce strojů a nástrojů (forem).

Tavenina termoplastu se chová viskózně (jako kapalina), ale zároveň také elasticky (jako pružná látka). Reologické chování taveniny je tak označováno jako viskoelastické.

#### 3.6.1 Hodnocení spirálové zkoušky zabíhavosti

Pomocí spirálové zkoušky zabíhavosti je možné hodnotit tokové vlastnosti zkoušeného materiálu. Jedná se o porovnávací metodu, díky které je možno vyhodnotit změny tokových vlastností materiálu v závislosti na procentuálním zastoupení regenerátu a jeho druhu v panenském materiálu při předem daných technologických podmínkách výroby zkušebních těles.



Podstatou zkoušky je stanovení zatékavosti zkoušených materiálů (viz obr. 3.18), tj. do jaké míry je daný materiál schopen vyplnit dutinu formy ve tvaru ploché Archimédovy spirály (viz kapitola 3.3) s teoreticky nekonečnou délkou, konstantní šířkou 10 mm a výškou 2 mm.

Obr. 3.18 Vzorek ve tvaru Archimédovy spirály

Naměřené průměrné hodnoty zabíhavosti taveniny plastu pro jednotlivé šarže, včetně statistického vyhodnocení jsou pro všechny šarže zaznamenány v tab. 3.16 a dílčí hodnoty jsou opět uvedeny v příloze 5 (viz tab. P16 až tab. P18).

Tab. 3.16 Délky Archimédovy spirály v závislosti na množství regenerátu a jeho druhu, při konstantních technologických podmínkách (viz kapitola 3.3)

	Množství regenerátu	0%	10%	20%
<b>L [ mm ]</b>	<i>Bez nalakování</i>	34,52 ± 0,46	34,86 ± 0,32	36,17 ± 0,26
	<i>Chem. Odlakování</i>	34,52 ± 0,46	36,46 ± 0,29	37,09 ± 0,23
	<i>S lakem</i>	34,52 ± 0,46	36,41 ± 0,20	36,57 ± 0,17
	Množství regenerátu	30%	40%	100%
<b>L [ mm ]</b>	<i>Bez nalakování</i>	36,01 ± 0,22	36,14 ± 0,32	37,04 ± 0,10
	<i>Chem. Odlakování</i>	37,31 ± 0,19	36,97 ± 0,17	37,33 ± 0,30
	<i>S lakem</i>	36,68 ± 0,17	36,55 ± 0,23	37,28 ± 0,26



## 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUZE

Z naměřených hodnot mechanických vlastností výstřiků, jejich smrštění a reologického chování taveniny plastu (viz kap. 3.4) byly sestrojeny grafické závislosti těchto veličin na vlivu procentuálního množství a typu regenerátu v panenském materiálu SABIC PP 95610 originál + SABIC PP compound 20MBT.

### 4.1 Vyhodnocení mechanických vlastností materiálu

Hodnocení mechanických vlastností materiálů, pro jednotlivá množství a typ regenerátu byla stanoveno tahovou, ohybovou a rázovou zkouškou za podmínek předepsaných normou.

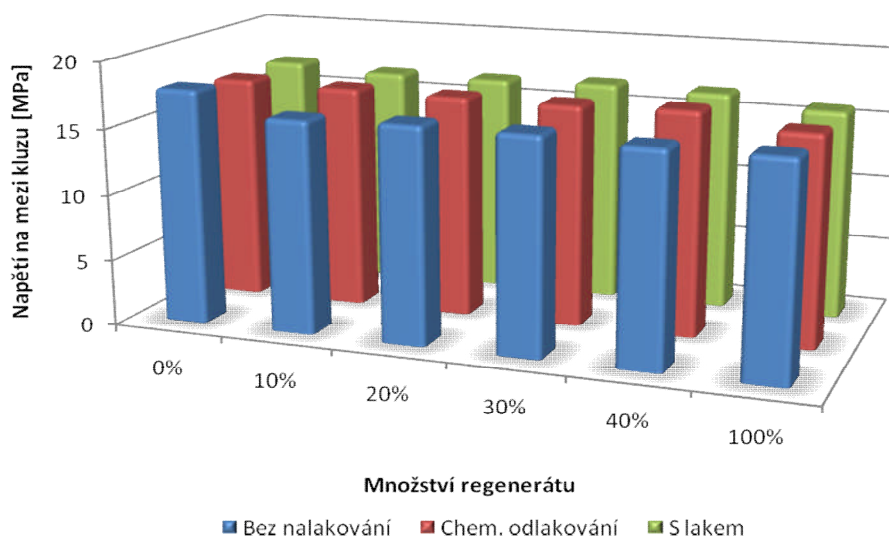
#### 4.1.1 Vyhodnocení tahových vlastností

Stanovení a vyhodnocení tahových vlastností materiálů bylo provedeno dle ČSN EN ISO 527-1,2. Během zkoušky byla zaznamenávána závislost napětí v tahu na poměrném prodloužení. Z těchto hodnot byly stanoveny hodnoty napětí na mezi kluzu a odpovídající deformace. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.7 až tab. 3.9 a znázorněny na obr. 4.1 a obr. 4.2. Vzhledem k tomu, že maximálního napětí vtahu ( $\sigma_M$ ) bylo u všech zkoušených vzorků dosaženo na mezi kluzu ( $\sigma_y$ ), jsou tyto hodnoty shodné. Z grafické závislosti velikosti maximálního napětí v tahu na množství regenerátu v základním materiálu (viz obr. 4.1) je zřejmé, že toto množství neovlivnilo výslednou pevnost výstřiku. Z této závislosti lze rovněž konstatovat, že výsledná pevnost výstřiku není ovlivněna typem regenerátu, tedy tím, zda je k základnímu materiálu přidáván regenerát z lakovaných, nenalakovaných nebo chemicky odlakovaných nárazníků.

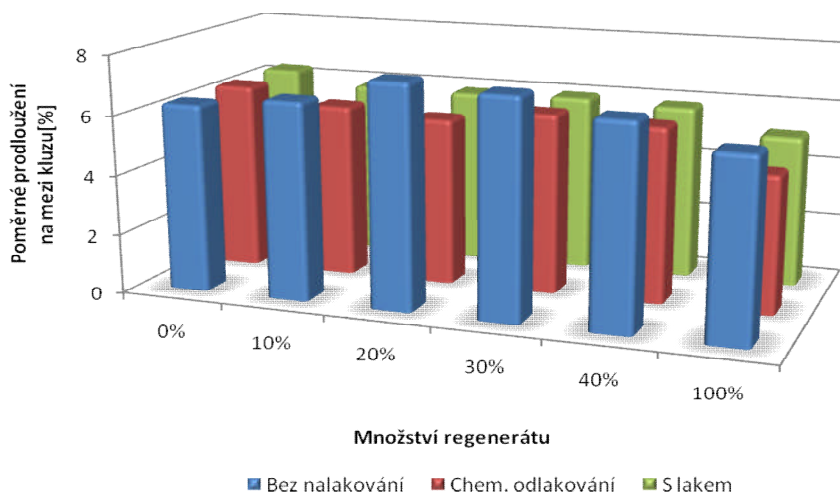
Z obr. 4.2 lze také říci, že prodloužení na mezi kluzu, resp. na mezi pevnosti nebylo u hodnoceného materiálu ovlivněno množstvím přidávaného regenerátu k základnímu materiálu, avšak náznaku poklesu (s přihlédnutím na velikost rozptylu) této hodnoty je zaznamenáno u dílů zhotovených z čistého regenerátu chemicky odlakovaných a lakovaných nárazníků. Rovněž je patrný náznak většího prodloužení na mezi kluzu, který vykazují

všechny šarže (dle množství regenerátu) výstřiků, k jejichž výrobě byl použit regenerát z nenalakovaného nárazníku.

Některé rozdíly hodnot prodloužení na mezi kluzu, k nimž došlo zejména u dílů vstřikovaných z regenerátu nenalakovaných nárazníků (při 20% až 40%) mohou být způsobeny nepravidelnostmi tvaru regenerátu, jakožto i přípravou výrobní směsi, která byla odvažována a míchána ručně. Avšak s ohledem na rozptyl měřených hodnot jsou tyto nuance bezvýznamné.



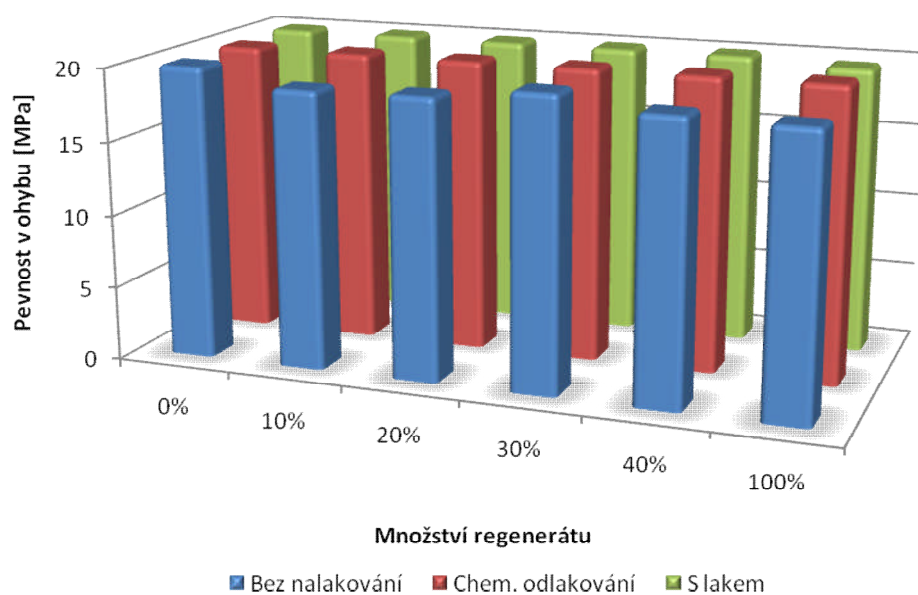
Obr. 4.1 Závislost meze pevnosti materiálu v tahu na množství regenerátu v základním materiálu



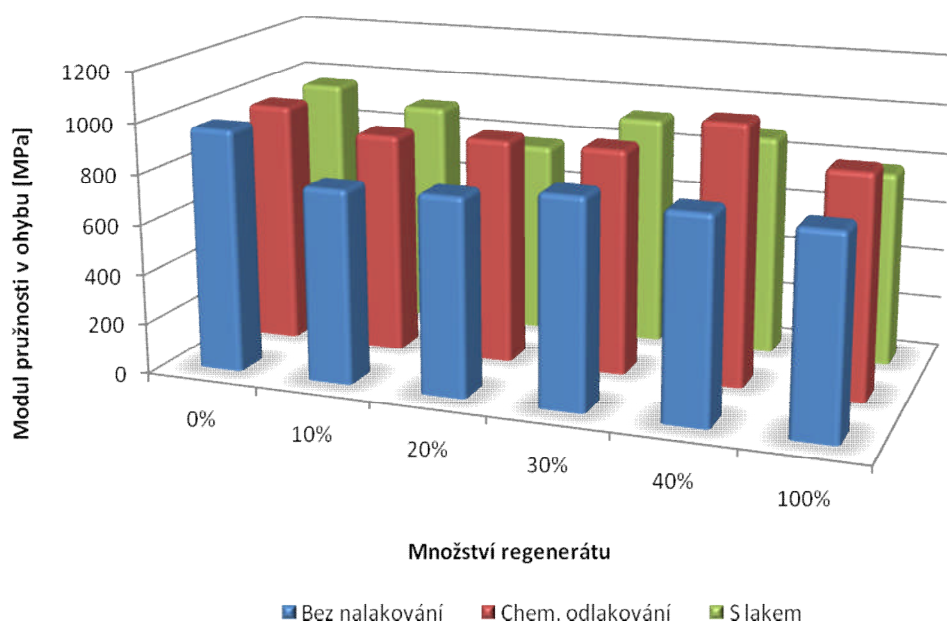
Obr. 4.2 Závislost poměrného prodloužení (tažnosti) na množství regenerátu v základním materiálu

#### 4.1.2 Vyhodnocení ohybových vlastností

Stanovení a vyhodnocení ohybových vlastností materiálů je provedeno dle ČSN EN ISO 178. Během zkoušky byla zaznamenávána závislost napětí v ohybu na průhybu. Z těchto měření byly stanoveny hodnoty modulu pružnosti v ohybu (viz tab. 3.10 až tab. 3.12) a znázorněny na obr. 4.3 a obr. 4.4. Z obr. 4.3 vyplývá, že pevnost v ohybu není závislá na druhu, ani na množství regenerátu v základním materiálu. Naopak modul pružnosti v ohybu je regenerátem ovlivňován a největších jeho hodnot vykazují výstřiky s regenerátem z chemicky odlakovaných nárazníků. Závislost změny modulu pružnosti v ohybu na množství regenerátu nelze jednoznačně stanovit, neboť při malém množství regenerátu je zaznamenán jeho pokles, avšak s dalším zvýšením množství regenerátu je tato změna potlačena a naopak dochází k jeho růstu, následnému ustálení nebo opětovnému poklesu.

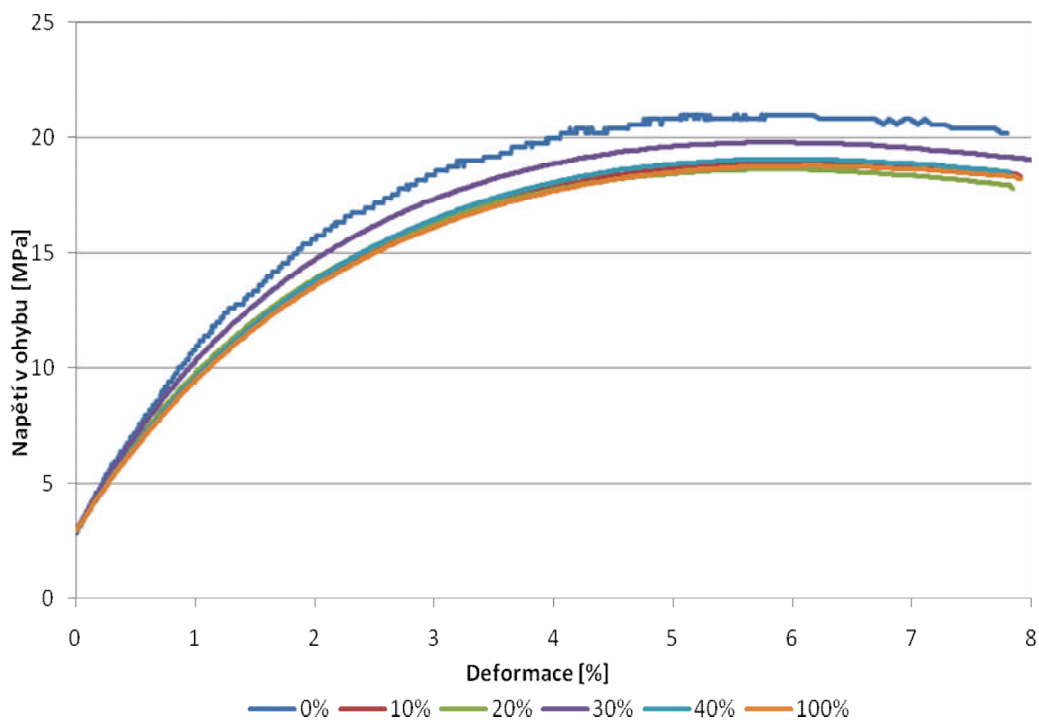


Obr. 4.3 Závislost pevnosti materiálu v ohyb na množství regenerátu v základním materiálu

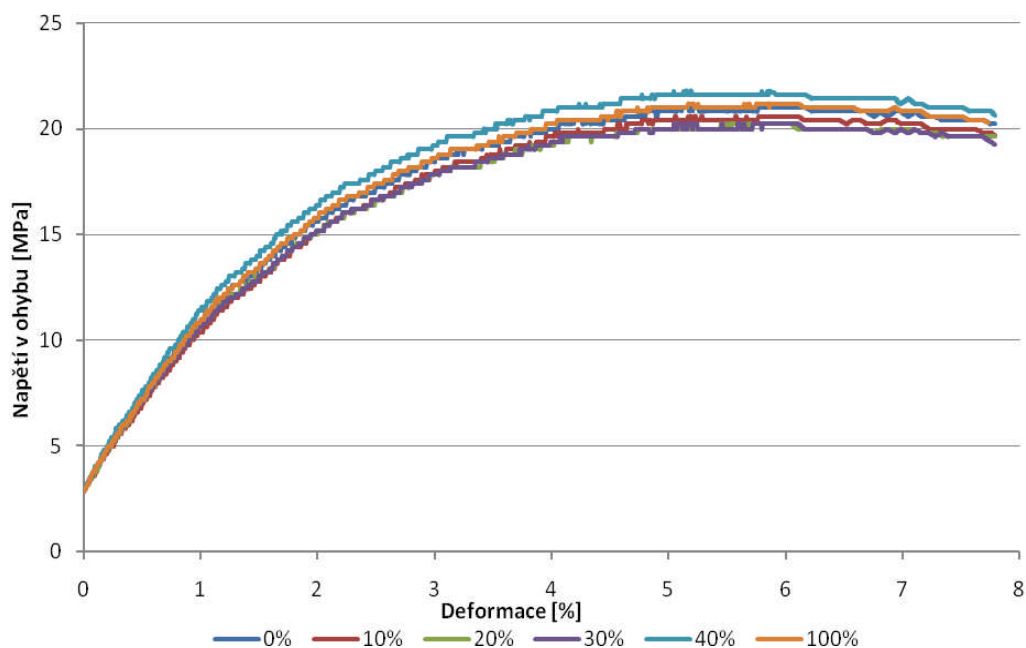


Obr. 4.4 Závislost modulu pružnosti v ohybu na množství regenerátu v základním materiálu

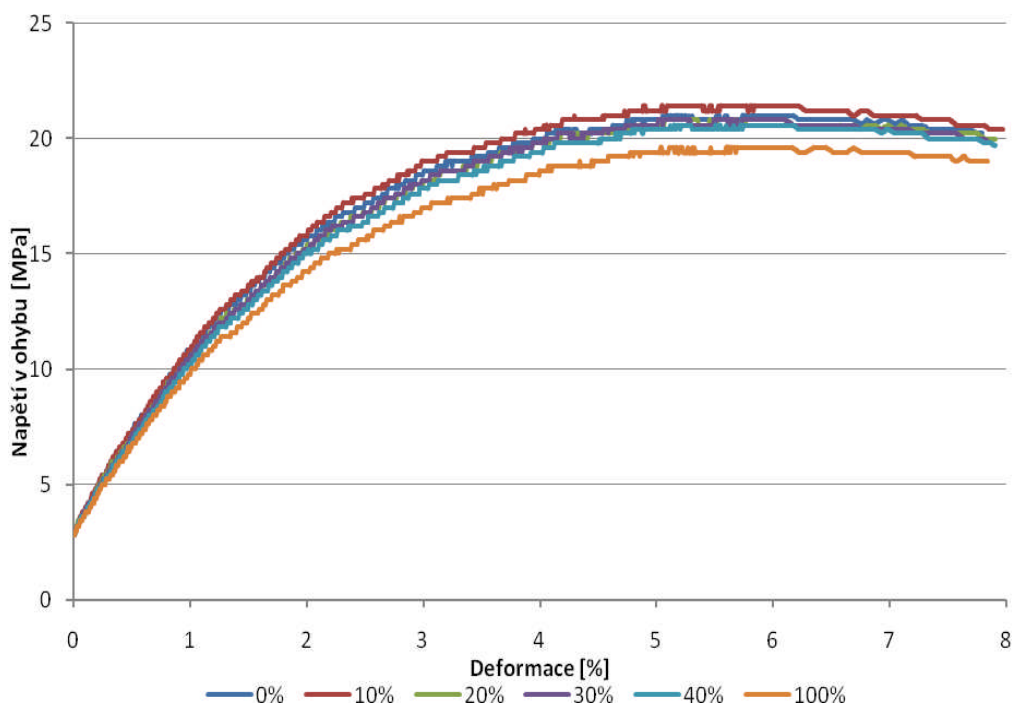
Grafické závislosti napětí v ohybu na deformaci výstřiků dle množství regenerátu a jeho tyu je uvedeno na obr. 4.5 až obr. 4.12.



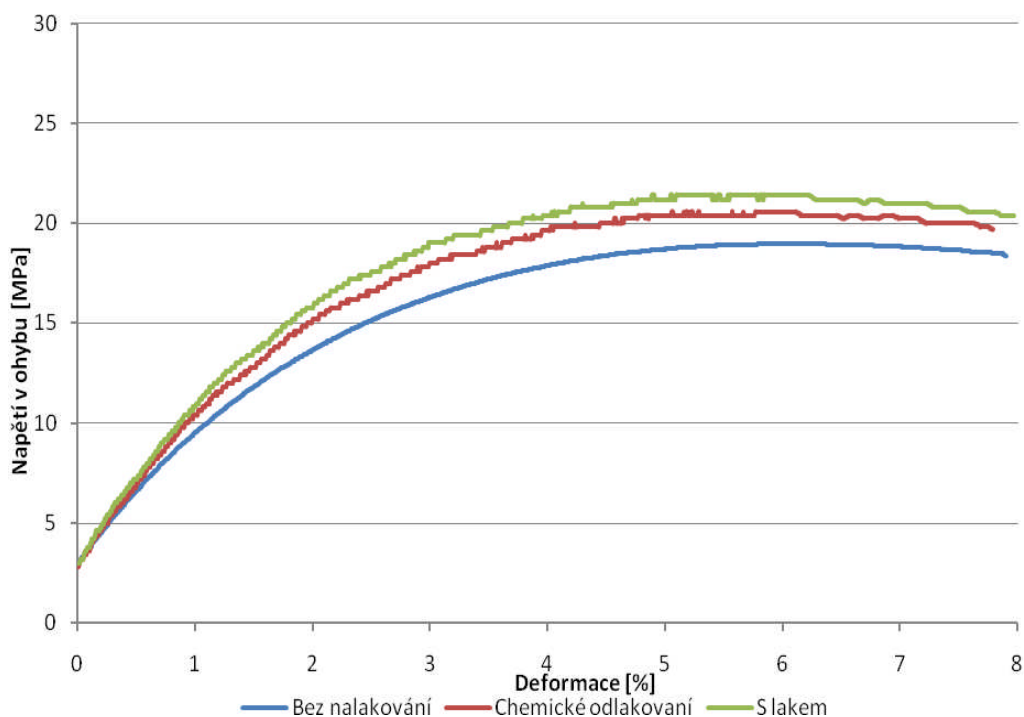
Obr. 4.5 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci v závislosti na množství regenerátu z nenalakovaných nárazníků



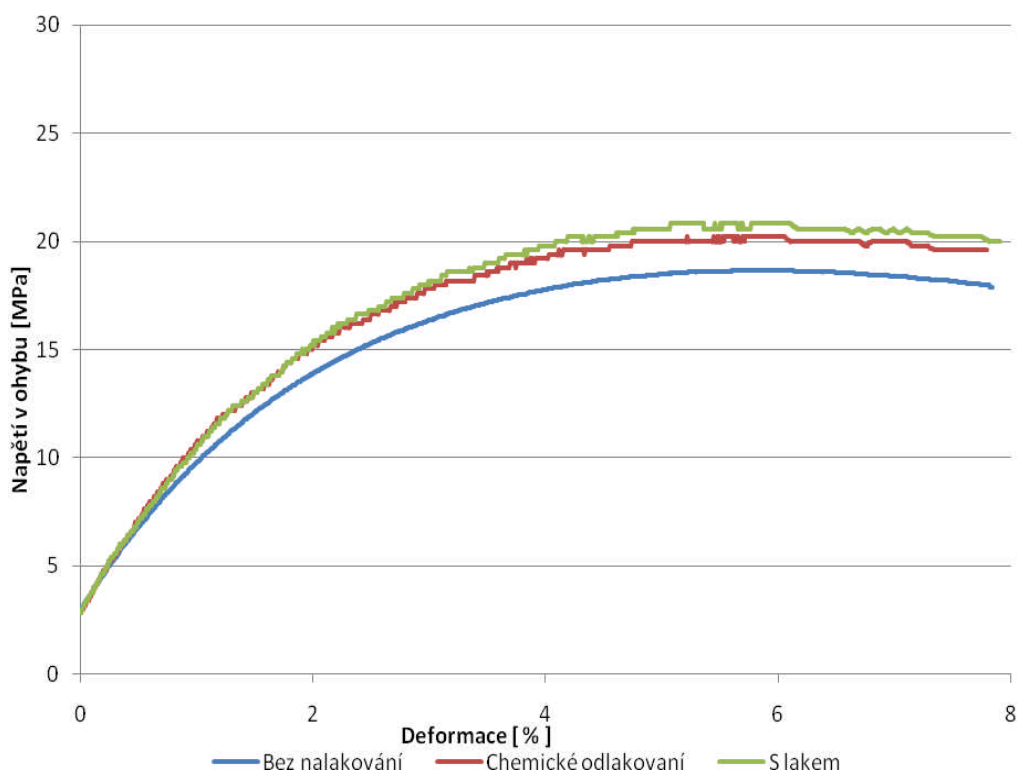
Obr. 4.6 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci v závislosti na množství regenerátu z chemicky odlakovaných nárazníků



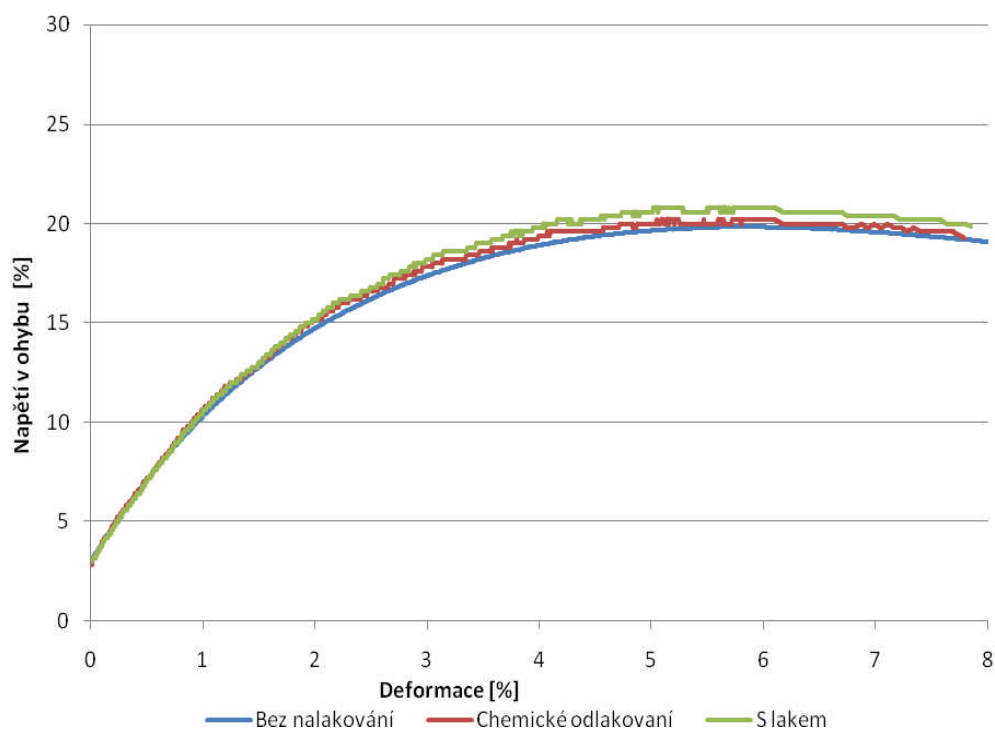
Obr. 4.7 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci v závislosti na množství regenerátu z nalakovaných nárazníků



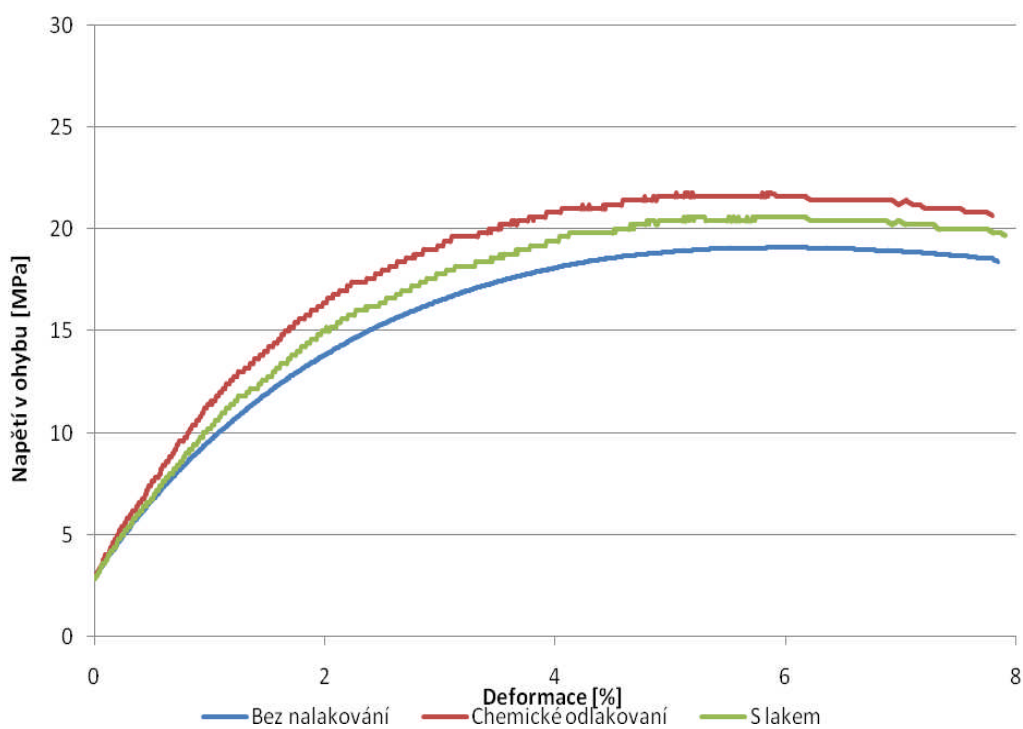
Obr. 4.8 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci pro 10% zastoupení regenerátu v panenském materiálu s ohledem na druhu regenerátu



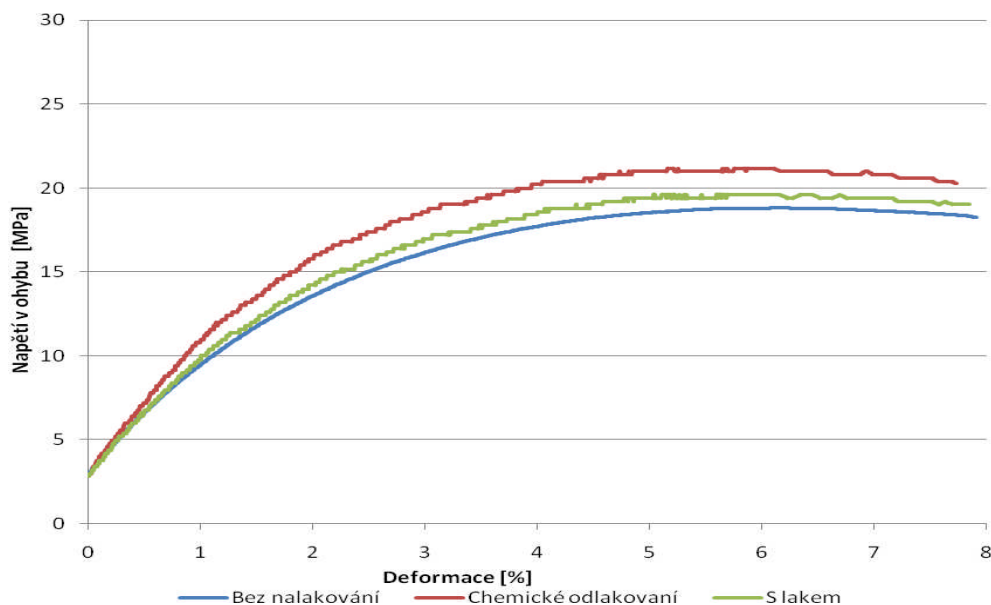
Obr. 4.9 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci pro 20% zastoupení regenerátu v panenském materiálu s ohledem na druhu regenerátu



Obr. 4.10 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci pro 30% zastoupení regenerátu v panenském materiálu s ohledem na druhu regenerátu



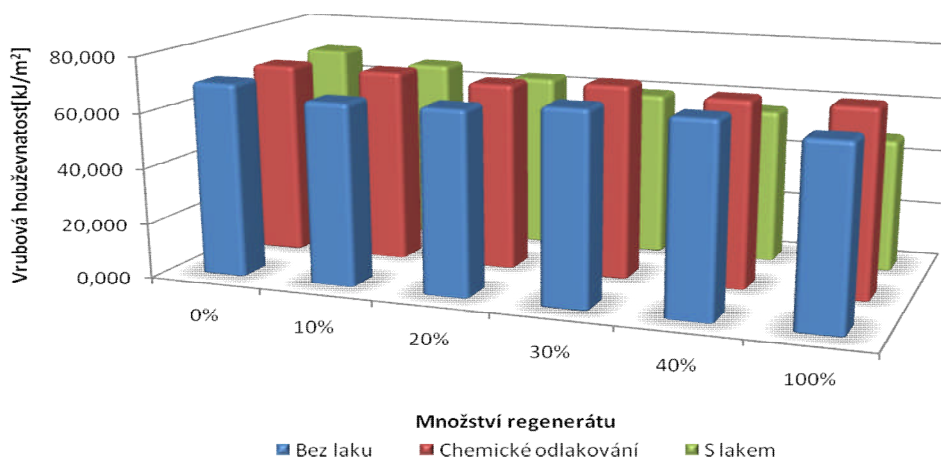
Obr. 4.11 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci pro 40% zastoupení regenerátu v panenském materiálu s ohledem na druhu regenerátu



Obr. 4.12 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci pro čistý regenerát s ohledem na jeho druhu

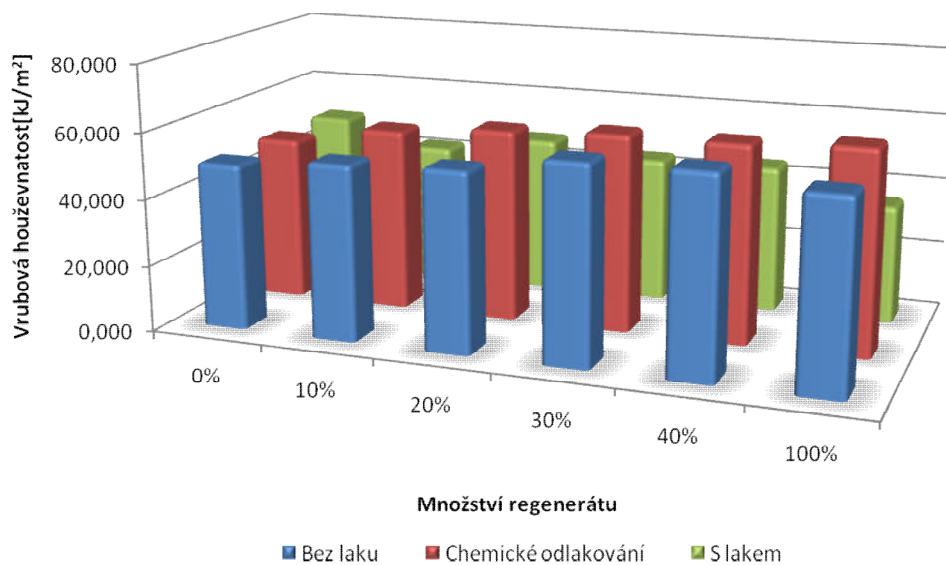
#### 4.1.3 Vyhodnocení vrubové houževnatosti.

Stanovení a vyhodnocení vrubové houževnatosti zkušebních těles s normalizovaným vrubem typu A je provedeno dle ČSN EN ISO 179. Během zkoušky byly zaznamenávány hodnoty vrubové houževnatosti při teplotě 23°C a -15°C v závislosti na druhu a procentuálním zastoupení regenerátu v panenském materiálu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.13 a tab. 3.14 a graficky znázorněny na obr. 4.13 až obr. 4.14, resp. obr. 4.15 až obr. 4.17.

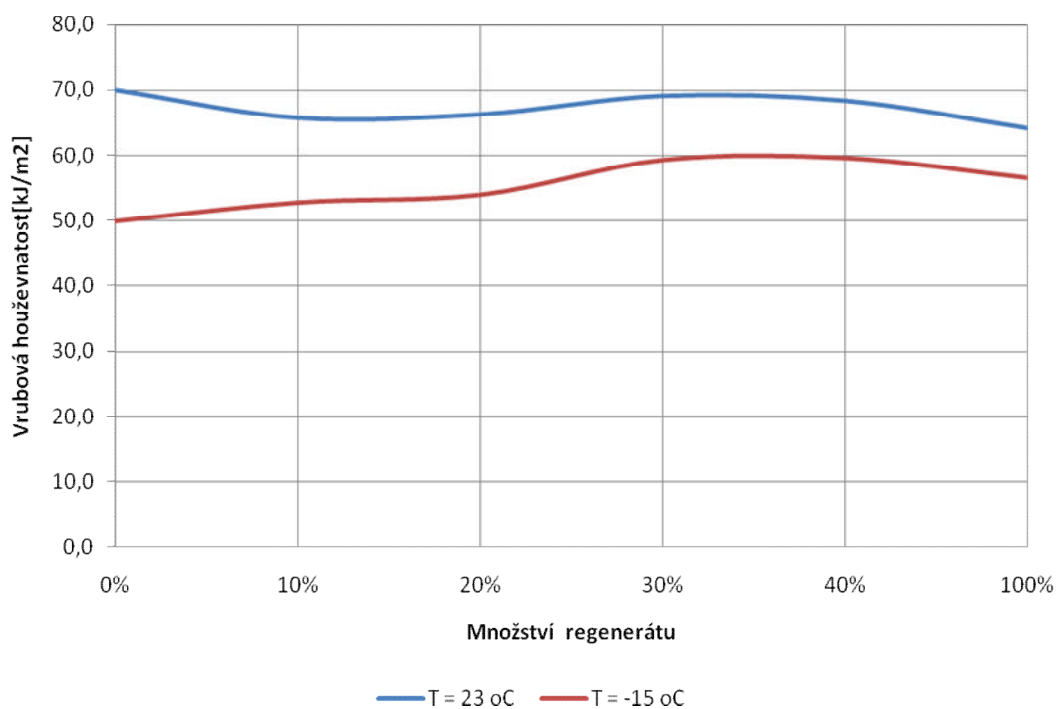


Obr. 4.13 Grafická závislost vrubové houževnatosti na množství regenerátu a jeho druhu pro 23°

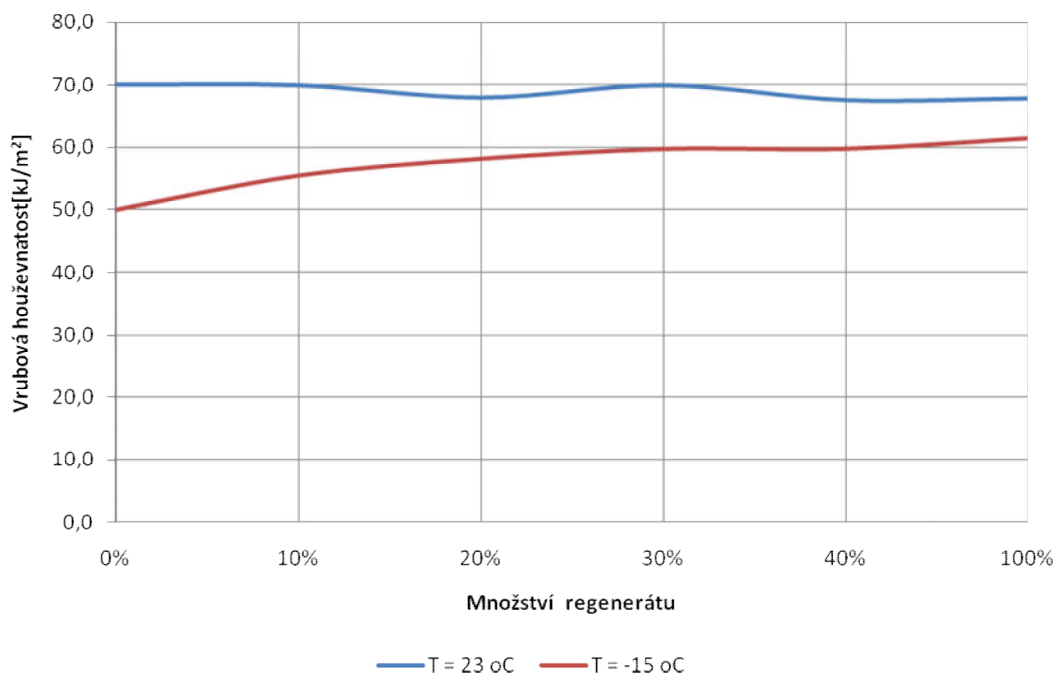




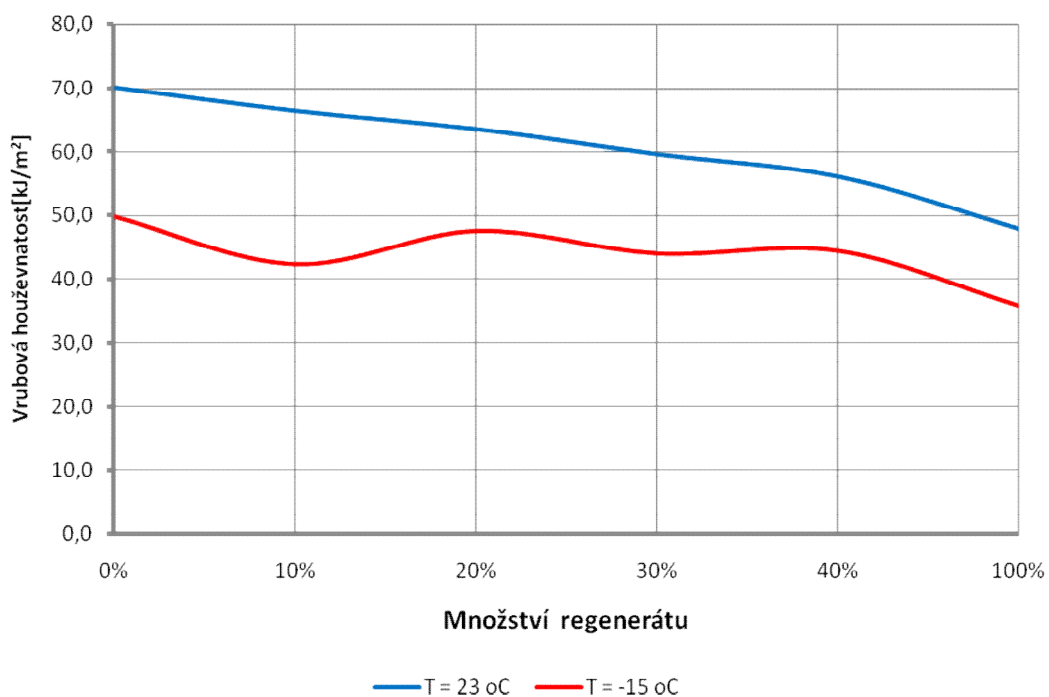
Obr. 4.14 Grafická závislost vrubové houževnatosti na množství regenerátu a jeho druhu pro -15°C



Obr. 4.15 Porovnání vrubové houževnatosti regenerátu z nenalakovaných nárazníků pro -15°C a 23°C v závislosti na procentuálním zastoupení regenerátu v panenském materiálu



Obr. 4.16 Porovnání vrubové houževnatosti regenerátu z chemicky odlakovaných nárazníků pro  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $23^{\circ}\text{C}$  v závislosti na procentuálním zastoupení regenerátu v panenském materiálu



Obr. 4.17 Porovnání vrubové houževnatosti regenerátu z lakovaných nárazníků pro  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $23^{\circ}\text{C}$  v závislosti na procentuálním zastoupení regenerátu v panenském materiálu

Z naměřených hodnot vrubové houževnatosti je vidět, že při teplotě 23°C není u výstřiků s regenerátem z nenalakovaných a chemicky odlakovaných nárazníků dosahováno jejich výrazných změn. Mírný nárůst vrubové houževnatosti u těchto výstřiků s rostoucím množstvím regenerátu je naopak patrný při teplotě -15°C. Naopak u výstřiků s rostoucím obsahem regenerátu z lakovaných nárazníků dochází k výraznému poklesu vrubové houževnatosti a to jak při teplotě 23°C tak také teplotě -15°C. Tento pokles mohl být způsoben různou teplotní roztažností výstřiku v důsledku částic laku oproti základnímu materiálu.

#### 4.2 Vyhodnocení výrobního smrštění

Měření a vyhodnocení smrštění zkušebních těles o tloušťce 2 mm bylo provedeno dle ČSN EN ISO 294-4. Při výrobě byla zkušební tělesa označena pořadovým číslem, časem a datem výroby. Takto připravená tělesa byla kondicionována po dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby, byly změřeny rozměry jednotlivých těles a spočítány hodnoty smrštění v jednotlivých směrech. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.15. Grafické závislosti smrštění v závislosti na druhu a procentuálním zastoupení regenerátu v panenském materiálu jsou znázorněny na obr. 4.18 až obr. 4.21.

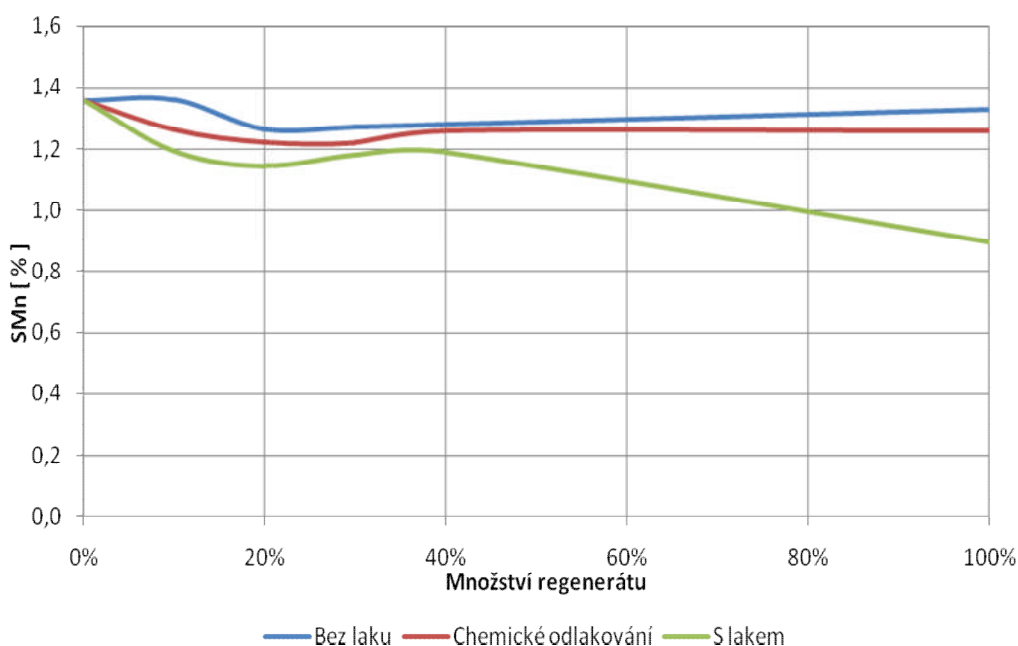
Z těchto závislostí lze jednoznačně konstatovat, že velikost výrobního smrštění přidáním různého množství i typu regenerátu nepřesáhne hodnotu výrobního smrštění základního (panenského) materiálu.

Vyšších hodnot příčného smrštění výstřiků (tedy ve směru kolmém na směr toku taveniny) je dosahováno u výstřiků s regenerátem z nárazníků bez laku a naopak nejnižších, je-li k panenskému materiálu přidáván regenerát z lakovaných nárazníků. Navíc v dutině A (viz obr. 4.18), došlo k výraznému poklesu této hodnoty, při obsahu regenerátu v panenském materiálu z lakovaných nárazníků vyšším jak 40%.

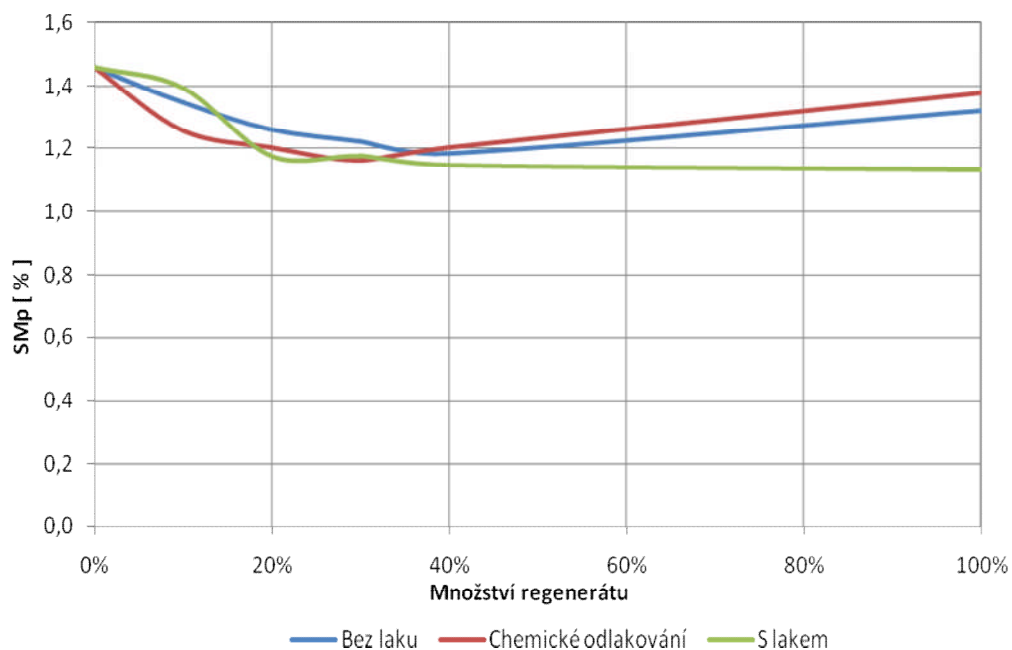
V případě podélného smrštění je vyšších hodnot dosahováno z počátku (dle množství regenerátu) u výstřiků s regenerátem z lakovaných nárazníků, které se však s postupným zvyšováním množství regenerátu snižují a v porovnání s výstřiky z regenerátu nenalakovaných a chemicky odlakovaných nárazníků je již dále u nich zaznamenáno nižších hodnot výrobního smrštění (viz obr. 4.18 a obr. 4.21).

Jak v podélném, tak i v příčném smrštění dochází přidáním regenerátu k základnímu materiálu k snížení výrobního smrštění, avšak při obsahu vyšším jak 30% k jeho ustálení, popřípadě růstu a to výstřiku s regenerátem z nárazníků bez nalakování nebo chemicky odlakovaných, resp. k ustálení nebo poklesu u výstřiků s regenerátem z lakovaných nárazníků.

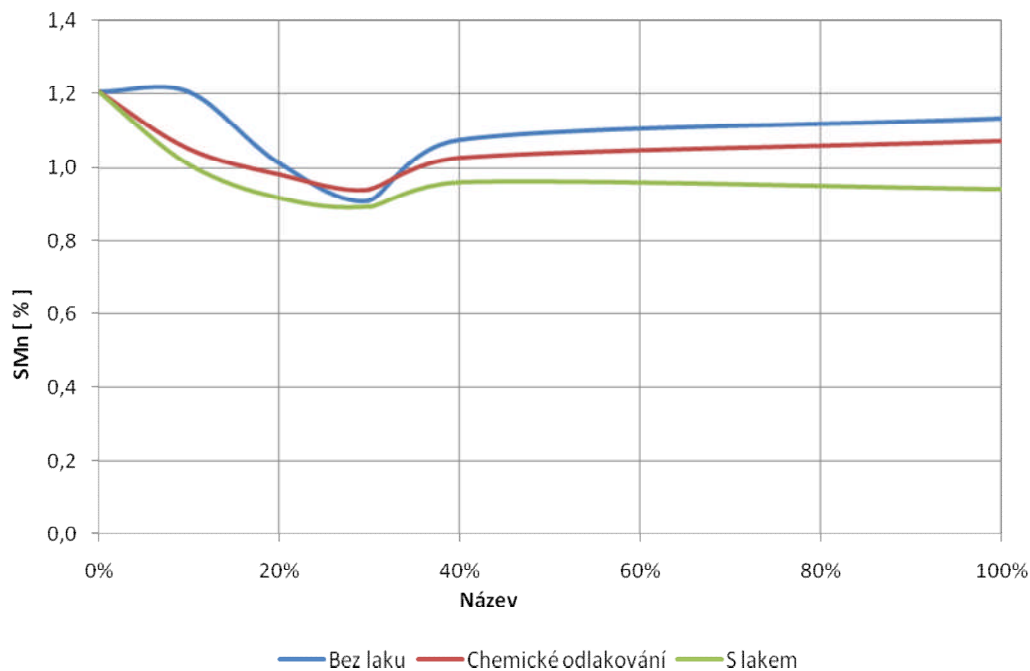
S ohledem na podstatu diplomové práce, jejímž cílem je především zhodnocení možnosti regenerace lakovaných dílů, je nutné konstatovat, že výrobní smrštění výstřiků obsahující regenerát z lakovaných nárazníků je v příčném směru z pravidla menší ve všech koncentracích regenerátů, zatímco v podélném směru až po překročení 30%, resp. 40% regenerátu v panenském materiálu.



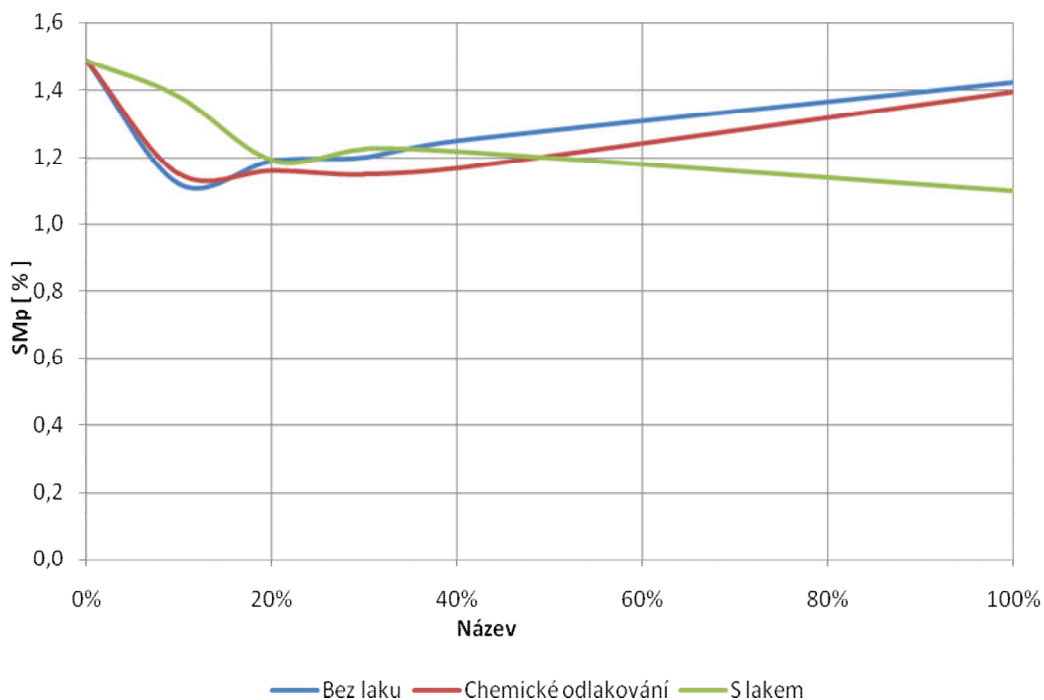
Obr. 4.18 Grafická závislost příčného smrštění ( $S_{Mn}$ ) zkušební vzorku A na množství regenerátu a jeho druhu



Obr. 4.19 Grafická závislost podélného smrštění ( $SM_p$ ) zkušební vzorku A na množství regenerátu a jeho druhu

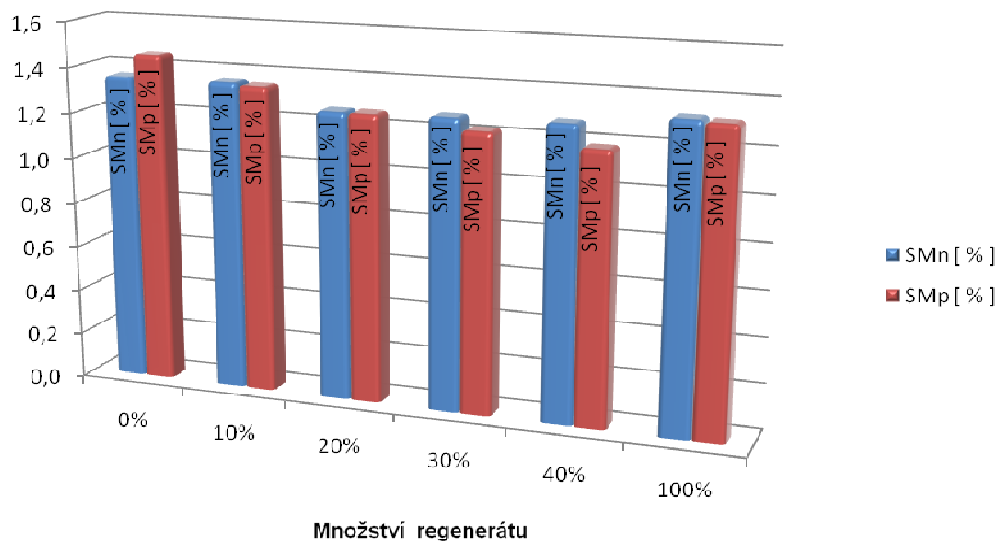


Obr. 4.20 Grafická závislost příčného smrštění ( $SM_n$ ) zkušební vzorku B na množství regenerátu a jeho druhu

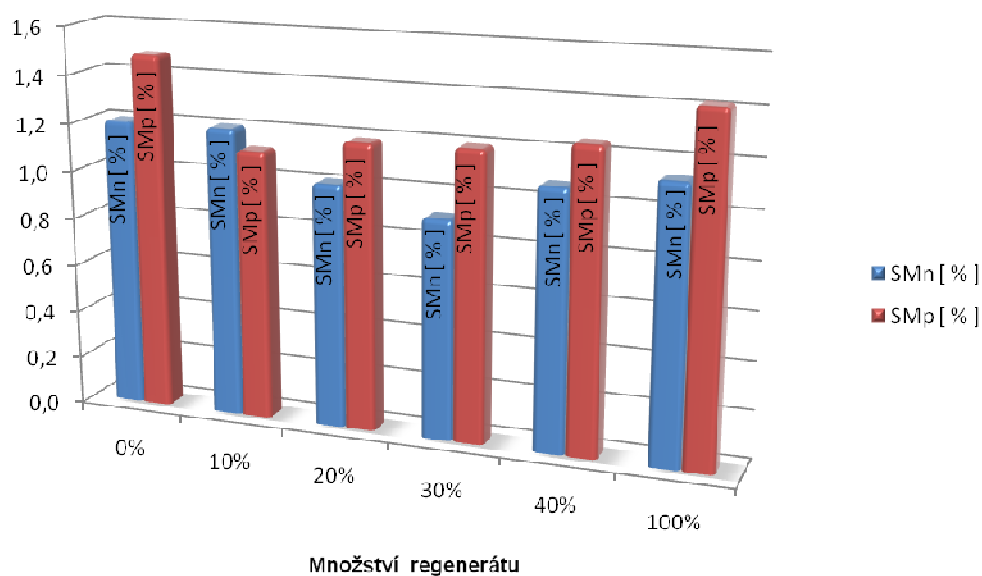


Obr. 4.21 Grafická závislost podélného ( $S_{Mp}$ ) smrštění zkušebního vzorku B na množství regenerátu a jeho druhu

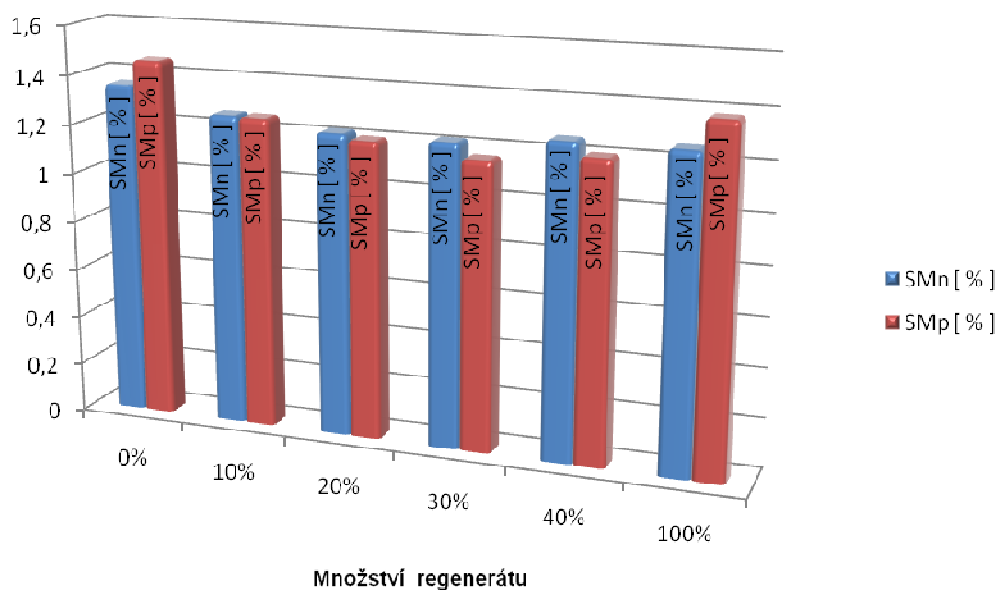
Grafické porovnání podélného ( $S_{Mp}$ ) a příčného smrštění ( $S_{Mn}$ ) vzorku A i B, při jednotlivých množstvích regenerátu a jeho druhu, je uvedeno na obr. 4.30 až obr. 4.27



Obr. 4.22 Grafické porovnání podélného smrštění ( $S_{Mp}$ ) a příčného smrštění ( $S_{Mn}$ ) vzorku A při jednotlivých množstvích regenerátu z nenalakovaných nárazníků

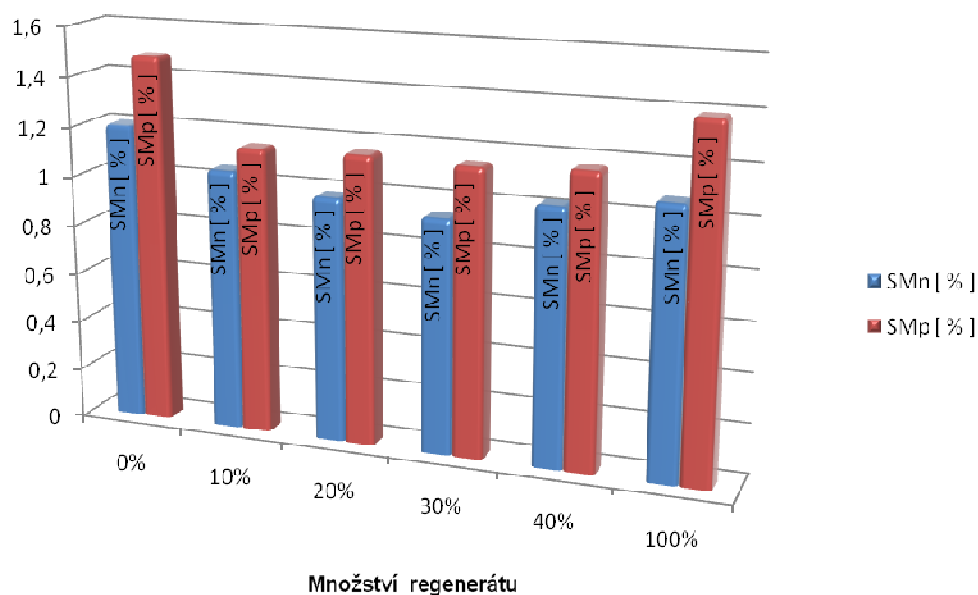


Obr. 4.23 Grafické porovnání podélného smrštění ( $SM_p$ ) a příčného smrštění ( $SM_n$ ) vzorku B při jednotlivých množstvích regenerátu z nenalakovaných nárazníků

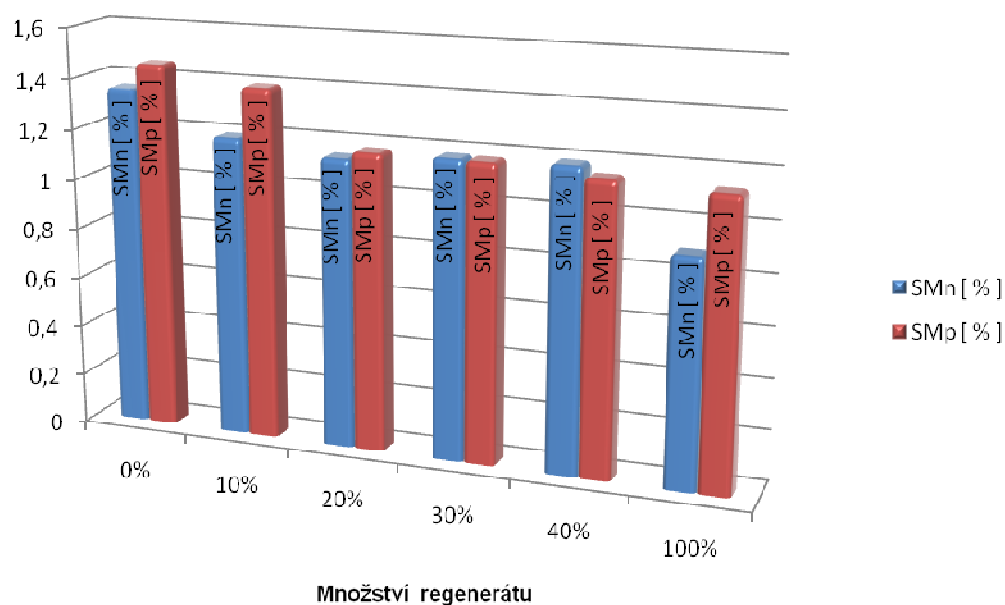


Obr. 4.24 Grafické porovnání podélného smrštění ( $SM_p$ ) a příčného smrštění ( $SM_n$ ) vzorku A při jednotlivých množstvích regenerátu z chemicky odlakovaných nárazníků

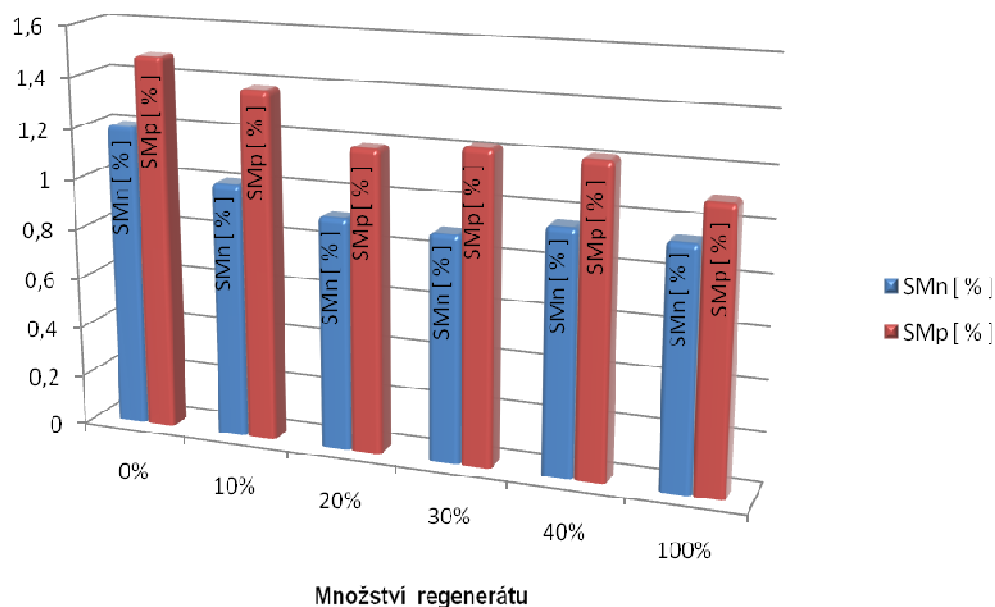




Obr. 4.25 Grafické porovnání podélného smrštění ( $SM_p$ ) a příčného smrštění ( $SM_n$ ) vzorku B při jednotlivých množstvích regenerátu z chemicky odlakovaných nárazníků



Obr. 4.26 Grafické porovnání podélného smrštění ( $SM_p$ ) a příčného smrštění ( $SM_n$ ) vzorku A při jednotlivých množstvích regenerátu z lakovaných nárazníků



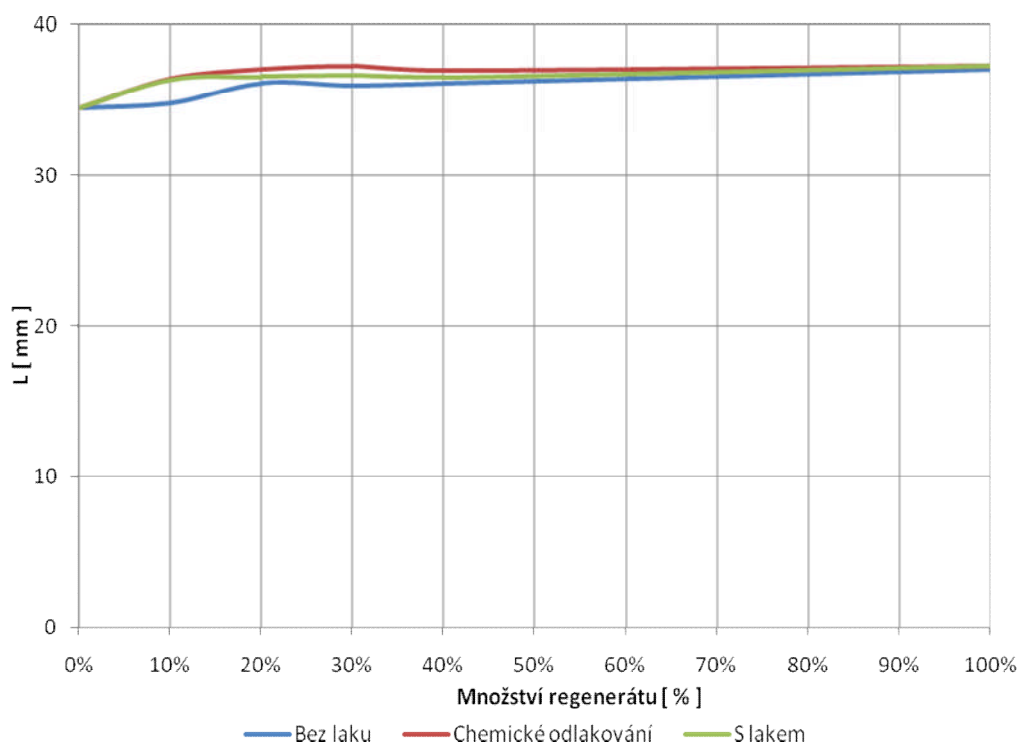
Obr. 4.27 Grafické porovnání podélného smrštění ( $S_{Mp}$ ) a příčného smrštění ( $S_{Mn}$ ) vzorku B při jednotlivých množstvích regenerátu z lakovaných nárazníků

### 4.3 Vyhodnocení reologických (tokových) vlastností materiálu

Posledním, neméně důležitým faktorem, je zhodnocení reologického (tokového) chování taveniny plastu v závislosti na množství a typu regenerátu, které by mohlo pozitivně nebo negativně ovlivnit vlastní zpracovatelský proces. K hodnocení tokového chování bylo použito metody spirálové zkoušky zabíhavosti.

Jednotlivé velikosti délek Archimédových spirál byly statisticky vyhodnoceny (viz tab. 3.16). Průměrné hodnoty spirál pro jednotlivé druhy regenerátu a jejich zastoupení v panenském materiálu jsou znázorněny na obr. 4.28, z něhož je patrné, že délka spirály na počátku zvyšujícího se množství regenerátu v panenském materiálu (nezávisle na jeho druhu) mírně vzrostla. Tento nárůst, byť není nikterak výrazný, by mohl příznivě ovlivnit změnu technologických parametrů (např. snížením teploty taveniny, vstřikovacího tlaku, apod) nebo zabíhavost plastu, zejména v tenkých oblastech výstřiku a vyztužujících žebířů. Toto konstatování lze však potvrdit výhradně v praxi při vstřikování reálných výstřiků. Strmější nárůst zabíhavosti plastů v tvarové dutině formy je u tavenin materiálů

s regenerátem z lakovaných a chemicky odlakovaných nárazníků, což potvrdilo očekávání.



Obr. 4.28 Délky Archimédovy spirály v závislosti na množství regenerátu a jeho druhu

## 5 ZÁVĚR

Kvalita a spolehlivost jsou dvě vlastnosti, jenž musí bezpodmínečně splňovat díly v automobilovém průmyslu. Toho lze dosáhnout jak vhodnou volbou technologie, technologických parametrů, materiálu, tak také sledováním kvality výrobního procesu. Jen takto lze zaručit splnění vysokých nároků kladených na kvalitu a vlastnosti polymerních dílů v tomto odvětví. Na druhou stranu se vzrůstající kvalitou výrobku roste bezesporu jeho cena, která bývá často pro cílového zákazníka rozhodující. Z tohoto důvodu výrobci hledají možnosti jak snížit výrobní náklady a tím i konečnou cenu výrobku. Jedna z možností se nabízí využití odpadu nebo zmetkových dílů vyřazených kontrolou, pro výrobu nových dílů.

V automobilovém průmyslu je řada polymerních výrobků, vyráběných především technologií vstřikování, povrchově upravována lakováním. Jedná se o proces, kdy je na povrchu výrobku vytvářen tenký organický povlak, který plní nejen funkci ochrannou, ale také napomáhá výrobku se identifikovat, odlišit, upoutat pozornost a vytvářet trvalé dojmy. Cílem této diplomové práce bylo posoudit možnost regenerace lakovaných nárazníků z polypropylenu SABIC PP 95610 + 20MBT. Zhodnocení této možnosti bylo provedeno výhradně z hlediska mechanických vlastností výstřiků, včetně jejich výrobního smrštění (dle ČSN EN ISO 294-4) i tokového chování taveniny plastu, na základě jejich porovnání s výsledky dosaženými na výstřicích vyráběných regenerací nárazníků bez laku a nárazníků, z nichž byl lak odstraněn chemickou cestou. Mechanické vlastnosti byly hodnoceny pomocí tahové zkoušky dle ČSN EN ISO 527, ohybové zkoušky dle ČSN EN ISO 178, rázové zkoušky těles s normalizovaným vrubem typu A dle ČSN EN ISO 179.

Norma UL 746 D stanovuje jako bezpečné množství 25% regenerátu v panenském materiálu, bez nutnosti provádění příslušných materiálových zkoušek. Experimentální měření bylo provedeno pro výstřiky z polypropylenu základního (panenského) charakteru, tak také pro výstřiky zhotovené s obsahem 10%, 20%, 30%, a 40% regenerátu v tomto materiálu a v neposlední řadě pro výstřiky vyrobené čistě z regenerátu.

Charakteristika dílčích závislostí s ohledem na množství regenerátu i jeho druhu (z nárazníků bez laku, s lakem a chemicky odstraněným lakem) je

podrobně rozebrána a zhodnocena v kap. 4. S ohledem na primární cíl diplomové práce lze z těchto diskusí konstatovat, že:

- regenerací lakovaných nárazníků nebude ovlivněna výsledná pevnost výstřiků při jejich tahovém a ohybovém namáhání, avšak může dojít k mírnému poklesu prodloužení na mezi kluzu, resp. pevnosti v tahu, ale tato změna je zaznamenána, až při použití čistého regenerátu, takže z hlediska provedení experimentu, lze konstatovat, že min. do 40% recyklátu v základním materiálu nedojde ke změně prodloužení na mezi kluzu výstřiku při jeho tahovém zatěžování. Obdobnou závislost ve vztahu k prodloužení na mezi kluzu vykazují výstřiky regenerované z nárazníku s chemicky odstraněným lakem.
- regenerací lakovaných nárazníků dojde k poklesu modulu pružnosti v ohybu, avšak při daném množství regenerátu méně, než kdyby k regeneraci byly používány nárazníky bez laku, tedy nárazníky vyřazené z procesu výroby před vlastním lakováním v důsledku neshodnosti v požadované kvalitě.
- regenerací lakovaných nárazníků dojde (při teplotě 23°C a -15°C) k poklesu vrubové houževnatosti a tento pokles roste s vyšším obsahem regenerátu v materiálu. V případě, je-li regenerován nenalakovaný nárazník (vyřazený z procesu v důsledku neshody v kvalitě) není změna rázové houževnatosti výrazná a nemění se dále s množstvím regenerátu. Požadované vrubové houževnatosti, ve vztahu k hodnotě panenského materiálu, vyhovují výstřiky z regenerovaných nárazníků s chemicky odstraněným lakem, u nichž se hodnota vrubové houževnatosti se zvyšujícím se množstvím regenerátu při teplotě 23°C nemění, při teplotě -15°C navíc ještě příznivě (ve vztahu k aplikaci výrobku) roste.
- regenerací lakovaných nárazníků bude dosaženo nižší hodnoty výrobního smrštění v příčném i podélném směru, které se dále více či méně snižuje s rostoucím množstvím regenerátu v základním materiálu a hodnoty

jsou nižší, než v případě regenerace nárazníků bez laku, je nutné vždy tyto hodnoty stanovovat experimentálně.

➤ tekutost plastu se ve všech typech regenerátu vzhledem k panenskému materiálu mírně zvýšila a to na počátku zvyšujícího se množství regenerátu, přičemž s dalším zvyšováním množství regenerátu její změna nebyla vysledována. Zvýšení tekutosti, taveniny může být příznivě využito v procesu vstřikování tak, jak bylo naznačeno v kap. 4.3. Zvýšení tekutosti taveniny do 20% regenerátu je strmější při regeneraci lakovaných nárazníků a nárazníků s chemicky odstraněným lakem.

V samotném závěru studie lze tedy říci, že v případě limitující hranice možného množství regenerátu v základním panenském materiálu 40%, je možné použít regeneraci nárazníků bez laku, aniž by došlo k negativnímu ovlivnění vlastností výstřiku ve vztahu k jeho aplikaci a hodnotám odpovídající vlastnostem základního materiálu. V případě regenerace nárazníků s lakem se jeví tato možnost nepříznivě z hlediska rázových, resp. vrubových vlastností, neboť tyto výrazně klesají, zatímco v případě regenerace nárazníků s chemicky odstraněným lakem je naopak příznivě dosahováno vyšších hodnot, zejména při teplotách pod bodem mrazu, resp.  $-15^{\circ}\text{C}$ , zatímco ostatní vlastnosti mezi těmito dvěma možnostmi regenerace nárazníků jsou při respektování velikosti rozptylů naměřených hodnot téměř shodné.

## 6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://www.otevrena-veda.cz/> (duben 2007)
- [2] <http://www.skoda-auto.com/cze/> (duben 2007)
- [3] <http://www.vke.de> (duben 2007)
- [4] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Ropn%C3%BD\\_vrchol](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ropn%C3%BD_vrchol) (duben 2007)
- [5] *Materials Recycling Financial Times Managment Repores*, London, 1995
- [6] SOVA, A. - KREBS, J.: *Termoplasty v praxi*. Praha : Verlag Dashöfer  
Nakladatelství spol. s.r.o. v Praze, 1999-2004. ISBN 80-86229-15-7
- [7] [http://www.petrecycling.cz/dkr\\_chem\\_rec.htm](http://www.petrecycling.cz/dkr_chem_rec.htm) (duben 2007)
- [8] HORÁČEK, J. : *Zpracování nekovových odpadů*. Praha : ČZU v Praze,  
2001.
- [9] LENFELD, P.: *Technologie II (Zpracování plastů)*. Liberec : TU  
v Liberci. ISBN 80-7372-037-X.
- [10] KREBS, J.: *Teorie a technologie zpracování plastů*. Liberec : VŠST  
v Liberci, 1981. ISBN 55-823-80.
- [11] <http://www.zerma.com/> (duben 2007)
- [12] <http://www.ksp.vslib.cz/> (duben 2007)
- [13] MIKOLAŠ, J.: *Recyklace průmyslových odpadů*. Praha : Nakladatelství  
technické literatury v Praze, 1988. ISBN 04-833-87.
- [14] Interní materiály firmy k.s. Cadence Innovation Liberec.
- [15] Interní materiály ABL Technic Bohemia s.r.o.
- [16] Materiálový list polymeru SABIC PP 95610 orig.+ SABIC PP compound  
20MBT.
- [17] ČSN ISO 291
- [18] ČSN EN ISO 527-1
- [19] ČSN EN ISO 178
- [20] ČSN EN ISO 179
- [21] ČSN EN ISO 294-4



# **PŘÍLOHY**

## **diplomové práce**

*Příloha 1:* Naměřené hodnoty ke zkoušce tahem

*Příloha 2:* Naměřené hodnoty ke zkoušce ohybem

*Příloha 3:* Naměřené hodnoty ke zkoušce vrubové houževnatosti

*Příloha 4:* Naměřené hodnoty ke stanovení výrobního smrštění

*Příloha 5:* Naměřené hodnoty ke spirálové zkoušce zabíhavosti

## Příloha 1: Naměřené hodnoty ke zkoušce tahem

Tab. P1 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro regenerát z nenalakovaných nárazníků

Bez nalakování				
	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]
vzorek č.	0%		10%	
1	17,51	6,00	15,56	6,13
2	17,25	5,78	16,20	6,36
3	16,59	6,08	16,35	7,35
4	17,03	5,60	15,96	6,15
5	17,18	5,90	16,11	6,44
6	15,90	4,52	16,35	6,68
7	16,50	5,82	16,24	6,56
8	16,46	5,22	16,26	6,92
9	16,74	5,68	16,31	7,30
10	16,76	5,52	15,73	7,04
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>17,08 ± 0,37</b>	<b>6,33 ± 0,53</b>	<b>16,15 ± 0,22</b>	<b>6,67 ± 0,27</b>
vzorek č.	20%		30%	
1	16,39	7,25	16,54	7,70
2	16,14	7,60	16,37	7,44
3	16,50	7,78	16,35	8,24
4	16,27	7,60	15,98	6,67
5	16,29	8,48	16,76	7,52
6	16,31	7,44	16,22	6,90
7	16,31	7,12	16,63	7,60
8	16,39	7,92	16,69	7,50
9	16,20	7,20	16,01	7,95
10	16,58	7,60	16,35	6,96
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,39 ± 0,35</b>	<b>7,53 ± 0,28</b>	<b>16,35 ± 0,27</b>	<b>7,34 ± 0,45</b>
vzorek č.	40%		100%	
1	15,79	7,08	16,14	5,76
2	15,96	7,80	16,24	6,00
3	16,16	7,08	16,13	5,70
4	15,88	6,48	16,03	6,09
5	16,26	7,68	16,27	6,56
6	16,42	6,85	15,79	5,64
7	16,37	7,52	16,18	6,40
8	16,54	6,88	16,56	5,85
9	16,31	6,96	16,20	6,08
10	16,29	7,36	16,03	6,40
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,07 ± 0,41</b>	<b>6,81 ± 0,31</b>	<b>16,12 ± 0,08</b>	<b>6,06 ± 0,30</b>

Tab. P2 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro regenerát z chemicky odlakovaných nárazníků

Chemické odlakování				
	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\epsilon_y = \epsilon_M$ [%]
vzorek č.	0%		10%	
1	17,51	6,00	17,51	6,00
2	17,25	5,78	17,25	5,78
3	16,59	6,08	16,59	6,08
4	17,03	5,60	17,03	5,60
5	17,18	5,90	17,18	5,90
6	15,90	4,52	15,90	4,52
7	16,50	5,82	16,50	5,82
8	16,46	5,22	16,46	5,22
9	16,74	5,68	16,74	5,68
10	16,76	5,52	16,76	5,52
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>17,08 ± 0,37</b>	<b>6,33 ± 0,53</b>	<b>16,91 ± 0,27</b>	<b>5,85 ± 0,43</b>
vzorek č.	20%		30%	
1	16,97	5,26	663,75	6,36
2	16,88	4,75	660,00	6,45
3	17,10	5,92	686,25	5,32
4	16,80	5,70	681,00	5,78
5	16,80	5,76	674,25	6,24
6	16,93	5,75	686,25	6,10
7	16,20	5,02	667,50	5,85
8	16,73	6,90	669,75	6,08
9	16,59	5,68	681,00	6,00
10	17,10	6,00	664,50	5,76
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,81 ± 0,39</b>	<b>5,64 ± 0,40</b>	<b>16,79 ± 0,21</b>	<b>6,07 ± 0,47</b>
vzorek č.	40%		100%	
1	17,40	5,08	16,01	5,10
2	17,08	5,80	16,22	4,80
3	17,03	5,65	15,94	4,25
4	17,04	6,28	16,07	4,75
5	17,25	5,60	15,75	4,75
6	16,63	6,90	15,92	4,20
7	16,69	6,16	16,16	4,25
8	16,82	5,91	15,99	4,50
9	16,95	5,90	15,98	4,80
10	16,88	6,35	16,01	4,75
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>17,00 ± 0,23</b>	<b>5,9 ± 0,41</b>	<b>16,00 ± 0,13</b>	<b>4,62 ± 0,30</b>

Tab. P3 Naměřené hodnoty tahovou zkouškou pro regenerát z lakovaných nárazníků

<b>S lakem</b>				
	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_y = \varepsilon_M$ [%]	$\sigma_y = \sigma_M$ [MPa]	$\varepsilon_y = \varepsilon_M$ [%]
<b>vzorek č.</b>	<b>0%</b>		<b>10%</b>	
1	17,51	6,00	16,69	6,08
2	17,25	5,78	16,56	6,04
3	16,59	6,08	16,84	6,20
4	17,03	5,60	16,80	6,40
5	17,18	5,90	16,48	5,55
6	15,90	4,52	16,63	5,75
7	16,50	5,82	16,50	5,96
8	16,46	5,22	16,65	6,00
9	16,74	5,68	16,80	5,45
10	16,76	5,52	16,86	6,24
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>17,08 ± 0,37</b>	<b>6,33 ± 0,53</b>	<b>16,67 ± 0,14</b>	<b>5,92 ± 0,28</b>
<b>vzorek č.</b>	<b>20%</b>		<b>30%</b>	
1	16,65	6,15	16,95	5,70
2	16,69	5,78	16,84	5,92
3	16,65	5,90	16,76	5,95
4	16,67	5,92	16,97	5,80
5	16,76	6,12	16,67	6,21
6	16,54	6,08	16,93	6,51
7	16,95	6,08	16,69	6,09
8	16,80	5,44	17,17	6,08
9	16,46	5,63	16,82	5,97
10	16,56	5,80	16,88	6,10
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,67 ± 0,15</b>	<b>5,90 ± 0,24</b>	<b>16,86 ± 0,16</b>	<b>5,98 ± 0,16</b>
<b>vzorek č.</b>	<b>40%</b>		<b>100%</b>	
1	16,73	5,92	15,90	5,04
2	16,95	5,70	16,14	5,36
3	16,84	5,32	16,31	5,60
4	16,37	5,73	15,51	4,30
5	16,58	6,03	16,03	5,60
6	16,48	6,42	15,92	4,96
7	16,82	5,97	16,44	5,90
8	16,88	6,16	15,73	4,80
9	16,61	4,75	15,77	4,64
10	16,44	6,02	15,45	4,90
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>16,68 ± 0,21</b>	<b>5,84 ± 0,34</b>	<b>15,92 ± 0,32</b>	<b>5,11 ± 0,50</b>

## Příloha 2: Naměřené hodnoty ke zkoušce ohybem

Tab. P4 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro regenerát z nenalakovaných nárazníků

	Bez nalakování			
	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
vzorek č.	0%		10%	
1	21,42	1039,46	19,58	879,69
2	21,00	952,84	18,55	750,72
3	21,00	952,84	18,94	704,52
4	20,82	952,84	18,96	775,75
5	20,82	952,84	18,72	762,27
6	20,03	952,84	18,44	765,93
7	20,45	1038,82	19,93	775,86
8	21,80	952,84	19,22	769,62
9	21,70	952,84	18,69	777,50
10	21,80	952,84	18,37	783,54
Průměrná hodnota	<b>21,01 ± 0,25</b>	<b>970,16 ± 3,74</b>	<b>18,95 ± 0,39</b>	<b>774,59 ± 64,59</b>
vzorek č.	20%		30%	
1	18,65	762,27	19,82	875,84
2	18,41	762,27	19,70	831,57
3	19,99	831,57	19,90	833,49
4	19,97	821,94	19,92	822,43
5	18,46	762,27	19,92	820,51
6	19,13	746,60	19,78	815,59
7	18,44	742,93	19,89	833,67
8	19,83	783,26	19,92	821,75
9	18,42	803,59	19,90	834,83
10	19,74	763,92	19,83	825,91
Průměrná hodnota	<b>19,10 ± 0,81</b>	<b>788,07 ± 35,48</b>	<b>19,85 ± 0,90</b>	<b>831,57 ± 27,54</b>
vzorek č.	40%		100%	
1	19,63	875,84	19,10	841,19
2	18,67	775,75	18,98	794,99
3	19,13	819,06	18,82	787,30
4	19,10	818,09	18,82	773,82
5	18,70	762,27	18,79	782,27
6	18,92	804,44	18,71	781,97
7	18,92	817,30	18,97	792,52
8	18,93	807,16	18,80	789,36
9	19,25	813,02	18,74	788,29
10	19,30	808,88	18,88	787,48
Průměrná hodnota	<b>19,05 ± 0,39</b>	<b>810,20 ± 44,54</b>	<b>18,90 ± 0,13</b>	<b>791,92 ± 30,27</b>

Tab. P5 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro regenerát z chemicky odlakovaných nárazníků

	Chemické odlakování			
	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
vzorek č.	0%		10%	
1	21,42	1039,46	21,00	952,84
2	21,00	952,84	20,82	866,22
3	21,00	952,84	20,58	866,22
4	20,82	952,84	20,40	866,22
5	20,82	952,84	20,40	866,22
6	20,03	952,84	20,55	866,22
7	20,45	1038,82	20,34	952,84
8	21,80	952,84	20,36	866,22
9	21,70	952,84	20,59	866,22
10	21,80	952,84	20,88	866,22
Průměrná hodnota	<b>21,01 ± 0,25</b>	<b>970,16 ± 3,74</b>	<b>20,6 ± 0,26</b>	<b>883,54 ± 38,14</b>
vzorek č.	20%		30%	
1	20,22	866,22	20,22	952,84
2	20,40	952,84	20,22	866,22
3	19,98	866,22	20,22	866,22
4	20,40	952,81	19,98	866,22
5	20,13	866,22	20,37	952,84
6	20,28	871,22	20,28	952,84
7	19,97	948,67	20,30	878,83
8	20,33	878,22	20,24	866,96
9	19,86	910,25	20,32	952,84
10	20,46	896,22	20,00	852,84
Průměrná hodnota	<b>20,20 ± 0,21</b>	<b>900,87 ± 47,44</b>	<b>20,21 ± 0,15</b>	<b>900,87 ± 47,44</b>
vzorek č.	40%		100%	
1	22,02	1039,46	21,42	866,22
2	21,78	1039,46	21,60	952,84
3	21,78	1039,46	21,20	952,84
4	22,02	1039,46	21,18	952,84
5	21,73	1039,46	20,51	866,22
6	21,72	1039,46	20,37	866,56
7	21,86	1039,46	21,39	866,22
8	21,88	1039,46	21,79	866,22
9	21,87	1039,46	20,51	866,98
10	21,74	1039,46	21,65	866,22
Průměrná hodnota	<b>21,84 ± 0,18</b>	<b>1039,46 ± 49,27</b>	<b>21,16 ± 0,39</b>	<b>892,32 ± 39,50</b>

Tab. P6 Naměřené hodnoty ohybovou zkouškou pro regenerát z lakovaných nárazníků

vzorek č.	S lakem			
	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]	$\sigma_{fM}$ [MPa]	$E_f$ [MPa]
0%		10%		
1	21,42	1039,46	21,18	866,22
2	21,00	952,84	21,42	952,84
3	21,00	952,84	21,18	866,22
4	20,82	952,84	21,42	866,22
5	20,82	952,84	21,38	981,71
6	20,03	952,84	21,18	930,80
7	20,45	1038,82	21,16	866,70
8	21,80	952,84	21,28	935,72
9	21,70	952,84	21,04	866,22
10	21,80	952,84	21,53	933,81
Průměrná hodnota	<b>21,01 ± 0,25</b>	<b>970,16 ± 3,74</b>	<b>21,28 ± 0,13</b>	<b>906,64 ± 56,29</b>
20%		30%		
1	21,18	866,20	21,18	952,84
2	21,00	750,72	21,00	952,84
3	20,82	851,78	20,82	866,22
4	20,82	723,10	20,82	866,22
5	20,58	743,72	20,98	981,71
6	21,24	709,41	21,00	958,40
7	21,23	788,64	20,78	866,22
8	20,54	769,87	20,79	949,72
9	21,00	758,11	21,00	964,38
10	20,45	805,34	20,88	881,04
Průměrná hodnota	<b>20,88 ± 0,22</b>	<b>776,71 ± 83,19</b>	<b>20,93 ± 0,16</b>	<b>923,97 ± 54,02</b>
40%		100%		
1	21,00	952,84	20,22	866,22
2	20,58	866,22	19,20	750,72
3	20,58	866,22	19,62	866,22
4	20,58	866,22	19,38	664,10
5	20,58	866,22	19,62	750,72
6	20,58	866,22	19,71	707,41
7	20,58	866,22	19,68	757,20
8	21,00	952,84	19,46	818,35
9	20,58	866,22	19,74	748,77
10	20,58	866,22	19,52	866,22
Průměrná hodnota	<b>20,66 ± 0,19</b>	<b>883,54 ± 38,74</b>	<b>19,61 ± 0,39</b>	<b>779,59 ± 86,62</b>



### Příloha 3: Naměřené hodnoty ke zkoušce vrubové houževnatosti

Tab. P7 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro regenerát z nenalakovaných nárazníků při 23°C

vzorek č.	Bez nalakování					
	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
0%			2,9 ± 10%	10%		
1	2,14	66,75		2,00	62,63	2,9 ± 10%
2	2,24	70,03		2,17	67,69	
3	2,34	73,22		2,13	66,47	
4	2,18	68,09		2,13	66,56	
5	2,26	70,69		2,15	67,19	
6	2,24	70,03		2,05	63,97	
7	2,17	67,94		2,13	66,56	
8	2,25	70,25		2,11	66,06	
9	2,31	72,03		2,03	63,56	
10	2,29	71,63		2,14	66,94	
Průměr	2,24 ± 0,01	70,07 ± 2,00		2,104 ± 0,06	65,76 ± 1,73	
20%			2,9 ± 10%	30%		
1	2,06	64,31		2,22	69,44	2,9 ± 10%
2	2,27	71,03		2,24	70,03	
3	2,27	71,03		2,18	68,09	
4	2,10	65,56		2,19	68,34	
5	2,08	64,88		2,19	68,50	
6	2,03	63,56		2,21	68,94	
7	2,07	64,56		2,25	70,44	
8	2,22	69,44		2,18	68,25	
9	2,02	62,97		2,21	68,94	
10	2,10	65,56		2,26	70,59	
Průměr	2,121 ± 0,10	66,29 ± 3,04		2,213 ± 0,03	69,16 ± 0,92	
40%			2,9 ± 10%	100%		
1	2,19	68,34		2,10	65,47	2,9 ± 10%
2	2,14	66,75		2,08	64,88	
3	2,21	68,94		2,08	64,88	
4	2,21	68,94		2,06	64,31	
5	2,20	68,69		2,00	62,63	
6	2,25	70,44		2,10	65,56	
7	2,18	68,09		1,99	62,06	
8	2,18	68,09		1,96	61,38	
9	2,16	67,34		2,11	66,06	
10	2,19	68,34		2,05	64,13	
Průměr	2,19 ± 0,03	68,40 ± 0,99		2,05 ± 0,05	64,13 ± 1,59	

Tab. P8 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro regenerát z nenalakovaných nárazníků  
při -15°C

Bez nalakování						
	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
vzorek č.	0%			10%		
1	1,46	45,75	2,9 ± 10%	1,75	54,59	2,9 ± 10%
2	1,58	49,38		1,63	51,00	
3	1,76	55,09		1,68	52,38	
4	1,54	48,22		1,62	50,59	
5	1,59	49,78		1,72	53,84	
6	1,61	50,34		1,69	52,94	
7	1,55	48,38		1,77	55,44	
8	1,59	49,53		1,65	51,56	
9	1,66	51,81		1,69	52,94	
10	1,63	50,91		1,69	52,69	
<b>Průměr</b>	<b>1,59 ± 0,01</b>	<b>49,92 ± 2,46</b>		<b>1,69 ± 0,01</b>	<b>52,80 ± 1,53</b>	
vzorek č.	20%			30%		
1	1,69	52,88	2,9 ± 10%	1,88	58,72	2,9 ± 10%
2	1,69	52,88		1,90	59,47	
3	1,69	52,69		1,91	59,72	
4	1,68	52,38		1,92	60,06	
5	1,67	52,28		1,86	58,16	
6	1,74	54,41		1,82	56,75	
7	1,77	55,28		1,92	60,06	
8	1,75	54,81		1,95	60,88	
9	1,85	57,91		1,93	60,22	
10	1,74	54,41		1,91	59,72	
<b>Průměr</b>	<b>1,73 ± 0,01</b>	<b>53,99 ± 1,76</b>		<b>1,90 ± 0,01</b>	<b>59,38 ± 1,20</b>	
vzorek č.	40%			100%		
1	1,86	58,06	2,9 ± 10%	1,81	56,41	2,9 ± 10%
2	1,90	59,47		1,85	57,75	
3	1,86	58,16		1,76	55,03	
4	1,98	61,81		1,71	53,50	
5	1,85	57,91		1,93	60,31	
6	1,92	59,91		1,82	56,75	
7	1,94	60,47		1,80	56,16	
8	1,97	61,47		1,85	57,75	
9	1,98	61,81		1,77	55,19	
10	1,85	57,78		1,83	57,16	
<b>Průměr</b>	<b>1,91 ± 0,01</b>	<b>59,68 ± 1,66</b>		<b>1,81 ± 0,01</b>	<b>56,60 ± 1,86</b>	

Tab. P9 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro regenerát z chemicky odlakovaných nárazníků při 23°C

Chemické odlakování						
	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
vzorek č.	0%			10%		
1	2,14	66,75	2,9 ± 10%	2,29	71,47	2,9 ± 10%
2	2,24	70,03		2,21	68,94	
3	2,34	73,22		2,28	71,28	
4	2,18	68,09		2,27	71,03	
5	2,26	70,69		2,18	68,00	
6	2,24	70,03		2,28	71,28	
7	2,17	67,94		2,24	70,13	
8	2,25	70,25		2,23	69,72	
9	2,31	72,03		2,23	69,53	
10	2,29	71,63		2,19	68,34	
Průměr	2,24 ± 0,01	70,07 ± 2,00		2,24 ± 0,04	69,97 ± 1,28	
vzorek č.	20%			30%		
1	2,11	66,00	2,9 ± 10%	2,28	71,19	2,9 ± 10%
2	2,12	66,38		2,27	70,63	
3	2,16	67,53		2,30	71,88	
4	2,16	67,53		2,19	68,34	
5	2,19	68,53		2,16	67,53	
6	2,17	67,78		2,22	69,28	
7	2,17	67,94		2,26	70,63	
8	2,18	68,10		2,29	71,63	
9	2,24	70,03		2,22	69,28	
10	2,22	69,28		2,22	69,44	
Průměr	2,17 ± 0,04	67,91 ± 1,21		2,24 ± 0,05	70,00 ± 1,45	
vzorek č.	40%			100%		
1	2,23	69,53	2,9 ± 10%	2,06	64,41	2,9 ± 10%
2	2,16	67,53		2,17	67,69	
3	2,19	68,28		2,17	67,69	
4	2,18	68,09		2,15	67,19	
5	2,12	66,34		2,19	68,28	
6	2,21	68,94		2,12	66,34	
7	2,10	65,59		2,28	71,25	
8	2,19	68,28		2,14	66,94	
9	2,04	63,81		2,21	69,09	
10	2,19	68,34		2,20	68,69	
Průměr	2,16 ± 0,06	67,48 ± 1,73		2,17 ± 0,06	67,76 ± 1,81	

Tab. P10 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro regenerát z chemicky odlakovaných nárazníků při -15°C

Chemické odlakování						
	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
vzorek č.	0%			10%		
1	1,46	45,75	2,9 ± 10%	1,83	57,22	2,9 ± 10%
2	1,58	49,38		1,75	54,75	
3	1,76	55,09		1,71	53,38	
4	1,54	48,22		1,70	53,19	
5	1,59	49,78		1,70	53,19	
6	1,61	50,34		1,81	56,66	
7	1,55	48,38		1,81	56,47	
8	1,59	49,53		1,81	56,47	
9	1,66	51,81		1,83	57,06	
10	1,63	50,91		1,79	56,06	
<b>Průměr</b>	<b>1,59 ± 0,01</b>	<b>49,92 ± 2,46</b>		<b>1,77 ± 0,05</b>	<b>55,44 ± 1,66</b>	
vzorek č.	20%			30%		
1	1,88	58,63	2,9 ± 10%	2,02	63,06	2,9 ± 10%
2	1,81	56,41		1,98	61,72	
3	1,84	57,63		1,95	60,94	
4	1,79	55,81		1,85	57,78	
5	1,86	58,22		1,87	58,38	
6	1,87	58,53		1,87	58,53	
7	1,87	58,38		1,85	57,81	
8	1,90	59,22		1,99	62,06	
9	1,88	58,78		1,89	58,97	
10	1,91	59,78		1,84	57,63	
<b>Průměr</b>	<b>1,86 ± 0,04</b>	<b>58,14 ± 1,22</b>		<b>1,91 ± 0,07</b>	<b>59,69 ± 2,05</b>	
vzorek č.	40%			100%		
1	1,84	57,56	2,9 ± 10%	1,98	61,72	2,9 ± 10%
2	1,94	60,53		2,04	63,66	
3	1,93	60,28		2,00	62,47	
4	1,89	58,97		1,99	62,16	
5	1,87	58,38		1,84	57,63	
6	1,91	59,72		1,98	61,91	
7	1,87	58,53		1,95	60,94	
8	1,93	60,38		1,84	57,56	
9	1,98	61,91		2,01	62,72	
10	1,95	60,94		2,02	63,22	
<b>Průměr</b>	<b>1,91 ± 0,04</b>	<b>59,72 ± 1,34</b>		<b>1,97 ± 0,07</b>	<b>61,40 ± 2,15</b>	

Tab. P11 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro regenerát z lakovaných nárazníků při 23°C

S lakem						
	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
vzorek č.	0%			10%		
1	2,14	66,75	2,9 ± 10%	2,08	64,94	2,9 ± 10%
2	2,24	70,03		2,05	63,94	
3	2,34	73,22		2,02	63,19	
4	2,18	68,09		2,11	65,94	
5	2,26	70,69		2,21	69,03	
6	2,24	70,03		2,05	64,03	
7	2,17	67,94		2,19	68,28	
8	2,25	70,25		2,11	65,94	
9	2,31	72,03		2,23	69,72	
10	2,29	71,63		2,20	68,69	
<b>Průměr</b>	<b>2,24 ± 0,01</b>	<b>70,07 ± 2,00</b>		<b>2,12 ± 0,08</b>	<b>66,37 ± 2,39</b>	
vzorek č.	20%			30%		
1	1,92	59,88	2,9 ± 10%	1,92	59,88	2,9 ± 10%
2	2,12	66,34		1,79	56,03	
3	2,13	66,53		2,00	62,59	
4	2,12	66,09		1,79	56,06	
5	2,13	66,69		2,03	63,44	
6	2,12	66,34		1,75	54,81	
7	2,01	62,78		2,01	62,78	
8	2,02	63,03		1,85	57,75	
9	1,78	55,63		1,81	56,59	
10	1,97	61,59		2,12	66,34	
<b>Průměr</b>	<b>2,03 ± 0,12</b>	<b>63,49 ± 3,68</b>		<b>1,91 ± 0,13</b>	<b>59,63 ± 3,94</b>	
vzorek č.	40%			100%		
1	1,50	46,84	2,9 ± 10%	1,63	51,03	2,9 ± 10%
2	1,79	56,03		1,61	50,41	
3	1,57	49,09		1,57	49,09	
4	1,79	56,03		1,45	45,34	
5	1,90	59,34		1,44	44,84	
6	1,90	59,50		1,59	49,81	
7	1,97	61,44		1,61	50,41	
8	1,97	61,44		1,53	47,78	
9	1,74	54,22		1,54	48,22	
10	1,84	57,34		1,36	42,53	
<b>Průměr</b>	<b>1,79 ± 0,16</b>	<b>56,13 ± 4,93</b>		<b>1,53 ± 0,09</b>	<b>47,95 ± 2,83</b>	

Tab. P12 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou pro regenerát z lakovaných nárazníků při  
-15°C

<b>S lakem</b>						
	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]	w [ J ]	a <sub>CA</sub> [ KJ/m <sup>2</sup> ]	v [m/s]
<b>vzorek č.</b>	<b>0%</b>			<b>10%</b>		
1	1,46	45,75	2,9 ± 10%	1,23	38,50	2,9 ± 10%
2	1,58	49,38		1,25	39,19	
3	1,76	55,09		1,34	41,78	
4	1,54	48,22		1,43	44,66	
5	1,59	49,78		1,31	40,84	
6	1,61	50,34		1,50	46,78	
7	1,55	48,38		1,34	41,78	
8	1,59	49,53		1,51	47,03	
9	1,66	51,81		1,28	39,97	
10	1,63	50,91		1,41	44,00	
<b>Průměr</b>	<b>1,59 ± 0,01</b>	<b>49,92 ± 2,46</b>		<b>1,36 ± 0,01</b>	<b>42,45 ± 3,04</b>	
<b>vzorek č.</b>	<b>20%</b>			<b>30%</b>		
1	1,49	46,47	2,9 ± 10%	1,55	48,31	2,9 ± 10%
2	1,59	49,69		1,46	45,75	
3	1,47	45,91		1,17	36,59	
4	1,58	49,28		1,50	46,78	
5	1,48	46,31		1,39	43,44	
6	1,59	49,69		1,28	40,13	
7	1,55	48,56		1,36	42,56	
8	1,46	45,75		1,66	51,97	
9	1,48	46,22		1,28	40,13	
10	1,56	48,72		1,47	45,91	
<b>Průměr</b>	<b>1,53 ± 0,05</b>	<b>47,66 ± 1,66</b>		<b>1,41 ± 0,15</b>	<b>44,16 ± 4,52</b>	
<b>vzorek č.</b>	<b>40%</b>			<b>100%</b>		
1	1,45	45,34	2,9 ± 10%	0,99	30,97	2,9 ± 10%
2	1,34	41,78		1,21	37,66	
3	1,58	49,44		1,07	33,56	
4	1,28	40,13		1,13	35,31	
5	1,41	44,00		1,14	35,47	
6	1,31	40,91		1,19	37,28	
7	1,43	44,56		1,09	34,03	
8	1,52	47,59		1,23	38,34	
9	1,51	47,03		1,20	37,44	
10	1,44	44,97		1,22	38,13	
<b>Průměr</b>	<b>1,43 ± 0,10</b>	<b>44,58 ± 2,99</b>		<b>1,15 ± 0,08</b>	<b>35,82 ± 2,40</b>	

## Příloha 4: Naměřené hodnoty ke stanovení výrobního smrštění

Tab. P13 Naměřené hodnoty délek a šířek vzorků pro regenerát z nenalakovaných nárazníků

		Bez nalakování											
		0%		10%		20%		30%		40%		100%	
č vzorku	rozměr	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	b	49,34	49,37	49,42	49,51	49,41	49,5	49,44	49,52	49,41	49,48	49,46	49,61
	l	49,34	49,35	49,36	49,41	49,46	49,41	49,45	49,41	49,44	49,41	49,48	49,47
2	b	49,33	49,37	49,4	49,44	49,41	49,51	49,43	49,52	49,42	49,55	49,57	49,56
	l	49,29	49,32	49,33	49,33	49,42	49,42	49,44	49,43	49,47	49,40	49,50	49,46
3	b	49,33	49,34	49,4	49,47	49,42	49,51	49,42	49,50	49,42	49,51	49,48	49,53
	l	49,32	49,25	49,34	49,34	49,41	49,41	49,44	49,41	49,45	49,42	49,49	49,45
4	b	49,22	49,32	49,41	49,47	49,42	49,51	49,42	49,52	49,40	49,49	49,46	49,60
	l	49,26	49,18	49,35	49,36	49,42	49,45	49,44	49,43	49,47	49,42	49,50	49,45
5	b	49,26	49,31	49,41	49,45	49,43	49,5	49,42	49,51	49,40	49,54	49,54	49,45
	l	49,23	49,23	49,36	49,37	49,41	49,41	49,46	49,44	49,44	49,44	49,45	49,48
6	b	49,27	49,31	49,42	49,48	49,44	49,54	49,40	49,50	49,40	49,47	49,55	49,48
	l	49,24	49,2	49,32	49,34	49,48	49,46	49,44	49,40	49,46	49,42	49,46	49,49
7	b	49,33	49,36	49,4	49,46	49,42	49,54	49,40	49,52	49,36	49,46	49,55	49,51
	l	49,26	49,24	49,37	49,35	49,46	49,43	49,44	49,41	49,47	49,40	49,45	49,48
8	b	49,32	49,35	49,41	49,45	49,41	49,51	49,41	49,50	49,38	49,48	49,61	49,51
	l	49,27	49,26	49,33	49,33	49,45	49,42	49,40	49,44	49,42	49,42	49,45	49,48
9	b	49,37	49,4	49,40	49,44	49,46	49,53	49,42	49,52	49,37	49,45	49,63	49,46
	l	49,37	49,37	49,34	49,32	49,44	49,44	49,44	49,40	49,44	49,42	49,45	49,49
10	b	49,36	49,38	49,39	49,45	49,42	49,55	49,40	49,48	49,43	49,50	49,60	49,47
	l	49,35	49,34	49,32	49,33	49,44	49,45	49,41	49,4	49,46	49,44	49,45	49,50
11	b	49,34	49,39	49,40	49,44	49,43	49,54	49,40	49,54	49,43	49,51	49,67	49,46
	l	49,33	49,31	49,31	49,29	49,45	49,44	49,44	49,41	49,45	49,44	49,45	49,49
12	b	49,37	49,43	49,39	49,44	49,43	49,32	49,39	49,52	49,37	49,45	49,53	49,46
	l	49,34	49,36	49,32	49,32	49,45	49,44	49,46	49,4	49,47	49,42	49,45	49,48
Průměr	b	49,32 ± 0,05	49,36 ± 0,01	49,39 ± 0,03	49,45 ± 0,01	49,41 ± 0,01	49,49 ± 0,01	49,41 ± 0,01	49,51 ± 0,05	49,39 ± 0,07	49,47 ± 0,03	49,39 ± 0,04	49,44 ± 0,02
	l	49,30 ± 0,05	49,29 ± 0,01	49,42 ± 0,01	49,47 ± 0,03	49,45 ± 0,01	49,47 ± 0,05	49,47 ± 0,07	49,48 ± 0,04	49,45 ± 0,03	49,47 ± 0,02	49,36 ± 0,08	49,35 ± 0,01



Tab. P14 Naměřené hodnoty délek a šířek vzorků pro regenerát z chemicky odlakovaných nárazníků

		Chemické odlakování											
		0%		10%		20%		30%		40%		100%	
č vzorku	rozměr	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	b	49,34	49,37	49,40	49,44	49,39	49,55	49,38	49,48	49,37	49,45	49,37	49,44
	l	49,34	49,35	49,39	49,56	49,47	49,41	49,35	49,43	49,42	49,4	49,31	49,34
2	b	49,33	49,37	49,39	49,46	49,38	49,48	49,40	49,49	49,38	49,46	49,36	49,42
	l	49,29	49,32	49,48	49,47	49,46	49,52	49,49	49,46	49,44	49,45	49,32	49,32
3	b	49,33	49,34	49,37	49,45	49,40	49,46	49,39	49,48	49,37	49,47	49,36	49,42
	l	49,32	49,25	49,36	49,41	49,42	49,42	49,44	49,44	49,42	49,52	49,32	49,33
4	b	49,22	49,32	49,36	49,42	49,48	49,47	49,40	49,52	49,36	49,44	49,36	49,41
	l	49,26	49,18	49,52	49,40	49,41	49,49	49,47	49,50	49,45	49,37	49,29	49,32
5	b	49,26	49,31	49,38	49,47	49,40	49,48	49,42	49,53	49,38	49,45	49,37	49,42
	l	49,23	49,23	49,38	49,51	49,45	49,46	49,49	49,50	49,44	49,46	49,34	49,33
6	b	49,27	49,31	49,37	49,42	49,38	49,45	49,39	49,50	49,37	49,44	49,39	49,41
	l	49,24	49,20	49,36	49,47	49,40	49,44	49,41	49,50	49,42	49,46	49,33	49,33
7	b	49,33	49,36	49,37	49,49	49,40	49,49	49,39	49,50	49,36	49,45	49,36	49,41
	l	49,26	49,24	49,37	49,51	49,46	49,57	49,48	49,44	49,41	49,46	49,33	49,32
8	b	49,32	49,35	49,38	49,46	49,37	49,45	49,38	49,49	49,36	49,45	49,37	49,45
	l	49,27	49,26	49,37	49,42	49,42	49,42	49,46	49,44	49,47	49,48	49,35	49,37
9	b	49,37	49,40	49,37	49,41	49,39	49,46	49,40	49,48	49,37	49,45	49,38	49,46
	l	49,37	49,37	49,25	49,38	49,40	49,41	49,46	49,44	49,41	49,39	49,36	49,37
10	b	49,36	49,38	49,37	49,41	49,38	49,47	49,37	49,47	49,36	49,44	49,38	49,43
	l	49,35	49,34	49,37	49,45	49,42	49,43	49,43	49,42	49,47	49,46	49,37	49,33
11	b	49,34	49,39	49,35	49,4	49,39	49,49	49,38	49,44	49,38	49,44	49,37	49,42
	l	49,33	49,31	49,41	49,42	49,42	49,47	49,43	49,46	49,44	49,45	49,34	49,34
12	b	49,37	49,43	49,35	49,41	49,39	49,48	49,39	49,49	49,36	49,44	49,38	49,46
	l	49,34	49,36	49,38	49,43	49,43	49,44	49,41	49,48	49,40	49,44	49,35	49,37
Průměr	b	49,32 ± 0,05	49,36 ± 0,01	49,37 ± 0,03	49,43 ± 0,05	49,39 ± 0,01	49,47 ± 0,01	49,39 ± 0,01	49,49 ± 0,01	49,37 ± 0,03	49,45 ± 0,04	49,37 ± 0,02	49,42 ± 0,02
	l	49,30 ± 0,05	49,29 ± 0,01	49,40 ± 0,04	49,45 ± 0,02	49,43 ± 0,06	49,45 ± 0,03	49,45 ± 0,02	49,46 ± 0,01	49,43 ± 0,04	49,45 ± 0,02	49,34 ± 0,05	49,33 ± 0,03

Tab. P15 Naměřené hodnoty délek a šířek vzorků pro regenerát lakovaných nárazníků

		S lakem											
		0%		10%		20%		30%		40%		100%	
č vzorku	rozměr	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	b	49,34	49,37	49,42	49,51	49,41	49,5	49,44	49,52	49,41	49,48	49,46	49,61
	l	49,34	49,35	49,36	49,41	49,46	49,41	49,45	49,41	49,44	49,41	49,48	49,47
2	b	49,33	49,37	49,4	49,44	49,41	49,51	49,43	49,52	49,42	49,55	49,57	49,56
	l	49,29	49,32	49,33	49,33	49,42	49,42	49,44	49,43	49,47	49,40	49,50	49,46
3	b	49,33	49,34	49,4	49,47	49,42	49,51	49,42	49,50	49,42	49,51	49,48	49,53
	l	49,32	49,25	49,34	49,34	49,41	49,41	49,44	49,41	49,45	49,42	49,49	49,45
4	b	49,22	49,32	49,41	49,47	49,42	49,51	49,42	49,52	49,40	49,49	49,46	49,60
	l	49,26	49,18	49,35	49,36	49,42	49,45	49,44	49,43	49,47	49,42	49,50	49,45
5	b	49,26	49,31	49,41	49,45	49,43	49,5	49,42	49,51	49,40	49,54	49,54	49,45
	l	49,23	49,23	49,36	49,37	49,41	49,41	49,46	49,44	49,44	49,44	49,45	49,48
6	b	49,27	49,31	49,42	49,48	49,44	49,54	49,40	49,50	49,40	49,47	49,55	49,48
	l	49,24	49,2	49,32	49,34	49,48	49,46	49,44	49,40	49,46	49,42	49,46	49,49
7	b	49,33	49,36	49,4	49,46	49,42	49,54	49,40	49,52	49,36	49,46	49,55	49,51
	l	49,26	49,24	49,37	49,35	49,46	49,43	49,44	49,41	49,47	49,40	49,45	49,48
8	b	49,32	49,35	49,41	49,45	49,41	49,51	49,41	49,50	49,38	49,48	49,61	49,51
	l	49,27	49,26	49,33	49,33	49,45	49,42	49,40	49,44	49,42	49,42	49,45	49,48
9	b	49,37	49,4	49,40	49,44	49,46	49,53	49,42	49,52	49,37	49,45	49,63	49,46
	l	49,37	49,37	49,34	49,32	49,44	49,44	49,44	49,40	49,44	49,42	49,45	49,49
10	b	49,36	49,38	49,39	49,45	49,42	49,55	49,40	49,48	49,43	49,50	49,60	49,47
	l	49,35	49,34	49,32	49,33	49,44	49,45	49,41	49,4	49,46	49,44	49,45	49,50
11	b	49,34	49,39	49,40	49,44	49,43	49,54	49,40	49,54	49,43	49,51	49,67	49,46
	l	49,33	49,31	49,31	49,29	49,45	49,44	49,44	49,41	49,45	49,44	49,45	49,49
12	b	49,37	49,43	49,39	49,44	49,43	49,32	49,39	49,52	49,37	49,45	49,53	49,46
	l	49,34	49,36	49,32	49,32	49,45	49,44	49,46	49,4	49,47	49,42	49,45	49,48
Průměr	b	49,32 ± 0,05	49,36 ± 0,01	49,40 ± 0,01	49,46 ± 0,01	49,43 ± 0,05	49,50 ± 0,02	49,41 ± 0,05	49,51 ± 0,03	49,41 ± 0,01	49,48 ± 0,02	49,55 ± 0,05	49,49 ± 0,08
	l	49,30 ± 0,05	49,29 ± 0,01	49,33 ± 0,03	49,34 ± 0,05	49,44 ± 0,01	49,43 ± 0,01	49,44 ± 0,01	49,42 ± 0,02	49,46 ± 0,01	49,42 ± 0,05	49,46 ± 0,03	49,48 ± 0,05

## Příloha 5: Naměřené hodnoty ke spirálové zkoušce zabíhavosti

Tab. P16 Naměřené hodnoty délek a šířek vzorků pro regenerát z nenalakovaných nárazníků

	Bez laku					
vzorek č.	0%	10%	20%	30%	40%	100%
1	35,10	34,63	35,53	36,51	35,80	37,09
2	34,84	34,92	36,26	36,32	35,58	36,98
3	35,17	34,85	36,38	36,23	35,62	37,00
4	34,83	34,53	36,29	36,07	35,57	36,96
5	34,52	34,88	36,34	35,98	36,39	37,20
6	33,98	34,81	36,26	35,93	36,32	36,88
7	34,27	34,62	36,33	35,87	36,28	37,04
8	34,30	34,66	36,06	36,08	36,21	37,14
9	34,15	35,42	36,00	35,92	36,20	36,96
10	34,98	35,40	35,94	35,86	36,16	37,16
11	33,85	35,25	35,86	35,80	36,20	37,01
12	34,20	35,44	35,59	35,73	36,21	37,03
<b>L [ mm ]</b>	<b>34,52 ± 0,46</b>	<b>34,86 ± 0,32</b>	<b>36,17 ± 0,26</b>	<b>36,01 ± 0,22</b>	<b>36,14 ± 0,32</b>	<b>37,04 ± 0,10</b>

Tab. P17 Naměřené hodnoty délek a šířek vzorků pro regenerát z chemicky odlakovaných nárazníků

	Chemické Odlakování					
vzorek č.	0%	10%	20%	30%	40%	100%
1	35,10	36,06	36,74	37,22	36,97	37,74
2	34,84	36,51	37,08	37,18	37,06	37,60
3	35,17	36,56	37,13	37,36	36,99	37,06
4	34,83	36,30	37,09	37,34	36,63	37,14
5	34,52	36,36	37,21	36,90	36,82	37,05
6	33,98	36,29	37,12	37,19	37,02	37,31
7	34,27	36,27	37,21	37,47	37,06	37,24
8	34,30	36,63	37,28	36,95	37,29	36,90
9	34,15	37,16	36,77	37,43	37,05	37,13
10	34,98	36,74	36,79	37,33	36,88	37,67
11	33,85	36,42	37,45	37,38	36,99	37,66
12	34,20	36,53	37,25	37,22	36,82	37,39
<b>L [ mm ]</b>	<b>34,52 ± 0,46</b>	<b>36,46 ± 0,29</b>	<b>37,09 ± 0,23</b>	<b>37,31 ± 0,19</b>	<b>36,97 ± 0,17</b>	<b>37,33 ± 0,30</b>

Tab. P18 Naměřené hodnoty délek a šířek vzorků pro regenerát z lakovaných nárazníků

	<b>S lakem</b>					
vzorek č.	0%	10%	20%	30%	40%	100%
<b>1</b>	35,10	36,45	36,55	36,72	36,63	37,03
<b>2</b>	34,84	36,63	36,51	36,76	36,16	37,46
<b>3</b>	35,17	36,00	36,42	36,77	36,61	37,27
<b>4</b>	34,83	36,37	36,42	36,62	36,46	37,00
<b>5</b>	34,52	36,24	36,41	36,75	36,35	37,17
<b>6</b>	33,98	36,42	36,60	36,80	36,57	37,56
<b>7</b>	34,27	36,62	36,70	36,90	36,44	37,43
<b>8</b>	34,30	36,57	36,17	36,78	36,97	37,53
<b>9</b>	34,15	36,42	36,69	36,54	36,37	36,76
<b>10</b>	34,98	36,12	36,70	36,30	36,79	37,23
<b>11</b>	33,85	36,27	36,72	36,56	36,70	37,52
<b>12</b>	34,20	35,94	36,86	36,54	36,53	37,15
<b><i>L [ mm ]</i></b>	<b>34,52 ± 0,46</b>	<b>36,41 ± 0,20</b>	<b>36,57 ± 0,17</b>	<b>36,68 ± 0,17</b>	<b>36,55 ± 0,23</b>	<b>37,28 ± 0,26</b>

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60-školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřeby TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, 25. května 2007

.....

Lukáš Štros

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec, 25. May 2007

.....

Lukáš Štros